

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΘΕΟΦΑΝΗΣ Α. ΓΕΜΤΟΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:
«Εφαρμογή Μεταβλητών Καλλιεργητικών Φροντίδων σε Οπωρώνες»

ΝΤΑΚΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΒΟΛΟΣ, 2015

Τριμελής Επιτροπή

Γέμτος Θεοφάνης (επιβλέπων), Καθηγητής Γεωργικής Μηχανολογίας.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Νάνος Γεώργιος, Καθηγητής Δενδροκομίας.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Φουντάς Σπυρίδων, Επίκουρος Καθηγητής Γεωργικής Μηχανολογίας.
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, οι παραγωγοί αναζητούν νέες καλλιεργητικές πρακτικές ώστε να μειώσουν το κόστος παραγωγής των αγροτικών προϊόντων. Με την οικονομική κρίση, υπάρχει αύξηση του κόστους εργασιών ενώ η εμπορία των αγροτικών προϊόντων έχει γίνει πολύ ανταγωνιστική καθώς οι καταναλωτές αναζητούν ποιοτικά προϊόντα σε φθηνότερες τιμές. Επίσης, η Ευρωπαϊκή Ένωση ορίζει αυστηρούς νόμους για να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις της γεωργίας στο περιβάλλον. Η εξέλιξη της τεχνολογίας βοήθησε στην ανάπτυξη της γεωργίας ακριβείας η οποία έχει ως στόχο την καλύτερη διαχείριση της παραλλακτικότητας των αγροκτημάτων για να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, και να γίνει οικονομικότερη η παραγωγή.

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η δημιουργία ενός συστήματος μεταβλητής λίπανσης. Χρησιμοποιήθηκε ένας λιπασματοδιανομέας γραμμικής λίπανσης με δυνατότητα ρύθμισης του ανοίγματός του μετρητικού του μηχανισμού μέσω ενός κοχλίου. Ο κοχλίας αντικαταστάθηκε από γρανάζι, το οποίο με την σειρά του ενώθηκε με το γρανάζι του άξονα ενός ηλεκτροκινητήρα. Κατά συνέπεια, ο ηλεκτροκινητήρας ήταν υπεύθυνος για το άνοιγμα του στομίου, μέσω εντολών που δέχεται από τον ελεγκτή του. Στην συνέχεια δημιουργήθηκε ένα λογισμικό το οποίο δέχεται ως εισερχόμενα στοιχεία τον χάρτη που έχει δημιουργηθεί με βάση ιστορικά στοιχεία του αγρού με τις ζώνες διαχείρισης καθώς και τη θέση του λιπασματοδιανομέα στο χώρο μέσω ενός GPS. Η εργασία που εκτελεί το λογισμικό αυτό είναι ο συνεχής έλεγχος της θέσης του GPS και η αυξομείωση του ανοίγματος του μετρητικού μηχανισμού του λιπασματοδιανομέα ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή, κάθε φορά, δόση λίπανσης.

Στην συνέχεια ο ελεγκτής (και κατά συνέπεια ο ηλεκτροκινητήρας) και ο δέκτης GPS συνδέθηκαν σε έναν υπολογιστή στον οποίο ήταν εγκατεστημένο το λογισμικό που δημιουργήθηκε. Τελικά έγινε δοκιμή του συστήματος για τον έλεγχο της λειτουργίας του, όπου το αποτέλεσμα ήταν η σωστή λειτουργία του, καθώς και η μη ύπαρξη σφάλματος στην αλλαγή της δόσης λίπανσης.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Γέμτο Θεοφάνη, Διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας, που με εμπιστεύθηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα. Τον ευχαριστώ θερμά για την καθοδήγηση και τον χρόνο που διέθεσε για να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία.

Ευχαριστώ τον κ. Νάνο Γεώργιο, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Διευθυντή του Εργαστηρίου Δενδροκομίας. Είναι τιμή μου η συμμετοχή του στην τριμελή επιτροπή της διατριβής μου. Επίσης τον ευχαριστώ για τον χρόνο και την καθοδήγηση που μου διέθεσε.

Ευχαριστώ τον κ. Φουντά Σπύρο, Επίκουρο Καθηγητή Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, για την βοήθεια του καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου. Τον ευχαριστώ θερμά για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, για το χρόνο που διέθεσε καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση που μου έδωσε για να φέρω εις πέρας την μεταπτυχιακή μου διατριβή.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κ. Χρήστο Καβαλάρη και κ. Χρήστο Καραμούτη για την συμπαράστασή τους, για την συνεργασία που είχαμε καθώς και για την βοήθεια που μου παρείχαν για την ολοκλήρωση της διατριβής.

Στο τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τη Λαμπρινή Παπαφώτη, τους φίλους μου και τους συντρόφους μου στο ΚΚΕ για την υπομονή τους, την ηθική στήριξη και συμπαράστασή τους καθώς και την αμέριστη βοήθεια τους σε όλους τους τομείς της ζωής μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----------|
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ. | i |
| 1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ. | v |
| 2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ. | 1 |
| 2.1. ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ. | 1 |
| 2.1.1. ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑ. | 3 |
| 2.1.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ Η ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ. | 4 |
| 2.2. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ (GPS). | 5 |
| 2.2.1. ΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ GPS. | 7 |
| 2.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕΣΩ GPS. | 9 |
| 2.2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ GPS. | 12 |
| 2.2.4. GPS ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ. | 14 |
| 2.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS). | 15 |
| 2.3.1. GIS ΚΑΙ ΑΝΟΙΚΤΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ. | 18 |
| 2.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ. | 19 |
| 2.5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. | 20 |
| 2.5.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. | 21 |
| 2.6. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ. | 22 |
| 2.6.1. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ. | 23 |
| 2.6.2. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ. | 24 |
| 2.7. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ. | 26 |
| 2.7.1. ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ. | 27 |
| 2.7.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ. | 28 |
| 2.7.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ. | 30 |
| 2.8. ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ. | 33 |
| 2.8.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ. | 35 |
| 2.9. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΙΣΡΟΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΟΣΕΙΣ (VRA). | 37 |
| 2.10. ΛΙΠΑΝΣΗ. | 40 |
| 2.10.1. ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΔΙΑΝΟΜΕΙΣ. | 41 |
| 2.10.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΔΟΣΗΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ. | 43 |
| 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ. | 45 |
| 3.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ “V.R.A. App”. | 50 |
| 3.1.1. ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ. | 51 |
| 3.1.1.1. ΥΠΟ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ Attribute Table Editor. | 53 |
| 3.1.2. ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΜΝΗΜΑ. | 55 |
| 3.1.3. ΚΑΡΤΕΛΕΣ ΕΠΙΛΟΓΩΝ - ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ GPS / ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ. | 57 |
| 3.1.3.1. ΚΑΡΤΕΛΑ G.P.S. Info. | 58 |
| 3.1.3.2. ΚΑΡΤΕΛΑ Motor Data. | 59 |
| 3.1.4. ΠΕΡΙΟΧΗ V.R.A. info. | 60 |
| 3.1.5. ΒΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ. | 60 |
| 3.2. ΔΟΚΙΜΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ. | 61 |
| 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ. | 65 |
| 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ. | 68 |
| 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ. | 70 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο πρωτόγονος άνθρωπος, στην Νεολιθική εποχή, άρχισε να δημιουργεί τα πρώτα εργαλεία από πέτρα και ξύλο με σκοπό τον έλεγχο του περιβάλλοντος. Σταματά να περιπλανάται και καλλιεργεί τη γη για να παράγει ένα μεγάλο μέρος της τροφής του. Από την στιγμή που ο άνθρωπος «μετατράπηκε» σε καλλιεργητή, δημιουργήθηκε η ανάγκη μόνιμης εγκατάστασης και έτσι σχηματίστηκαν τις πρώτες κοινότητες. Με το πέρασμα των χρόνων τα εργαλεία βελτιώθηκαν, όμως η ανάγκη για περαιτέρω εξέλιξη είναι εμφανής λόγω της υπερβολικής αύξησης του πληθυσμού.

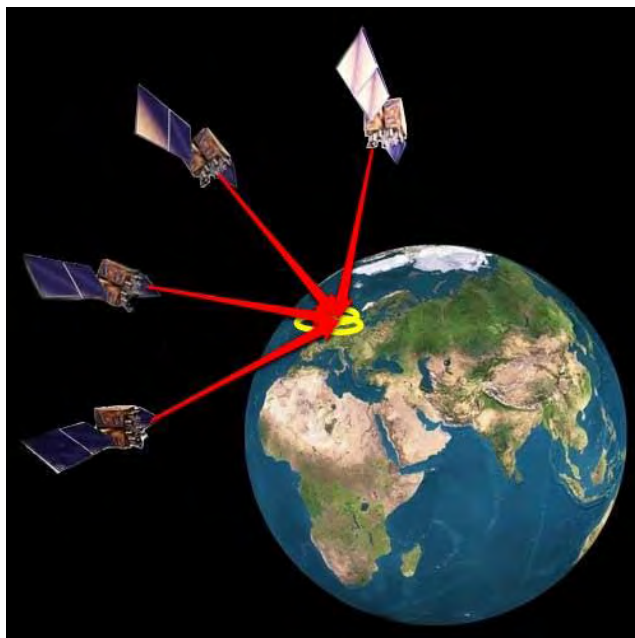
Παλιότερα ο γεωργός γνώριζε το χωράφι του και διαχειριζόταν τα διάφορα μέρη του σύμφωνα με τις ανάγκες που θεωρούσε ότι είχαν. Με την εκμηχάνιση της γεωργίας ο αγροτικός κλήρος αυξήθηκε και η διαχείριση των αγροκτημάτων άρχισε να γίνεται με βάση τις ιδιότητες του εδάφους, τους μέσους όρους της παραγωγής αλλά και των χαρακτηριστικών της καλλιέργειας. Η βασική, λανθασμένη, υπόθεση σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι οι αγροί είναι ομοιόμορφοι. Έτσι οι εισροές εφαρμόζονται ομοιόμορφα στον αγρό με αποτέλεσμα την σπατάλη τους, την επιβάρυνση του περιβάλλοντος ακόμα και την μείωση της παραγωγής. Οι επιπτώσεις αυτής της πρακτικής αποτέλεσαν ένα βάρος στις πλάτες των αγροτών, το οποίο συνεχώς διογκωνόταν.



Εικόνα 1: Γεωργικές εργασίες στις αρχές του 1900.

~ i ~

Τα τελευταία χρόνια, και με την έναρξη των παγκόσμιων οικονομικών αναταραχών η ανάγκη μείωσης των καλλιεργητικών δαπανών έγινε επιτακτική. Η λύση αυτού του προβλήματος είναι η μέτρηση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας, των παραμέτρων της παραγωγής και του εδάφους σε συνδυασμό με την είσοδο νέων τεχνολογιών στον αγροτικό τομέα. Το αποτέλεσμα του συνδυασμού αυτού είναι η γεωργία ακριβείας. Το χαρακτηριστικό της είναι ότι αντί να γίνονται οι καλλιεργητικές φροντίδες με βάση τις μέσες τιμές παραγωγής και γονιμότητας του εδάφους είναι δυνατή η εφαρμογή διαφορετικών δόσεων εισροών για κάθε τμήμα του αγρού ανάλογα με τις πραγματικές του ανάγκες. Τα παραπάνω δεν θα ήταν δυνατόν να πραγματοποιηθούν χωρίς την συμβολή της τεχνολογίας και των συστημάτων εντοπισμού θέσης (GPS). Τα συστήματα αυτά σε συνδυασμό με τους αισθητήρες μέτρησης της παραγωγής έδωσαν την δυνατότητα στον παραγωγό να χαρτογραφήσει την παραγωγή του και να την βελτιώσει με επεμβάσεις. Οι πρώτες εφαρμογές έγιναν στο τέλος της δεκαετίας του 1980 και κυρίως στις αρχές της δεκαετίας του 1990 με την χαρτογράφηση της παραγωγής των σιτηρών.



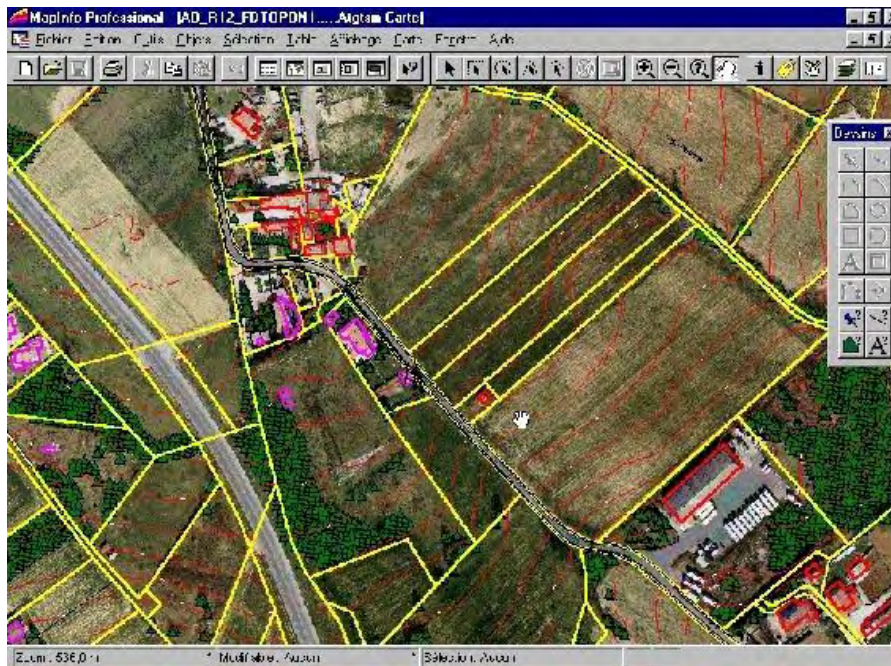
Εικόνα 2: Εικονική αναπαράσταση του GPS.

Το σημαντικότερο στάδιο της γεωργίας ακριβείας είναι η επεξεργασία των δεδομένων που συλλέγονται. Ο κύριος σκοπός αυτού του σταδίου είναι η ανεύρεση ζωνών διαχείρισης εντός του αγροτεμαχίου, που χαρακτηρίζονται

από κοινά εδαφολογικά ή αγρονομικά χαρακτηριστικά (Blackmore et al., 2003). Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης των αγροτεμαχίων αποτελεί τη βάση εφαρμογής της Γεωργίας Ακριβείας και για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πληροφορίες που συγκεντρώνονται με διάφορα μέσα. Το μέγεθος των πληροφοριών που συλλέγονται από τα διάφορα μέσα (Παραγωγή, αναλύσεις φυσικών, χημικών και άλλων ιδιοτήτων του εδάφους και των φυτών, Αεροφωτογραφίες, κλπ.) όμως, είναι τόσο μεγάλο που η επεξεργασία του και κατά συνέπεια η εξαγωγή αποτελεσμάτων είναι ένα τεράστιο πρόβλημα. Σε αυτό το πρόβλημα ήρθε να δώσει λύση μια τεχνολογία που ονομάστηκε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι συστήματα που παρέχουν την δυνατότητα συλλογής, διαχείρισης, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και οπτικοποίησης, σε ψηφιακό περιβάλλον, των δεδομένων που σχετίζονται με τον χώρο.

Η πρώτη προσπάθεια για εκμετάλλευση της τεράστιας υπολογιστικής ικανότητας των Η/Υ προς όφελος της γεωργίας γίνεται το 1960 όταν ο Dr. Roger Tom Linson αναπτύσσει μία εφαρμογή που την ονομάζει CGIS (Canada Geographic Information System) (Coppock and Rhind, 1991). Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή, αποθήκευση και επεξεργασία διαφόρων δεδομένων που συλλέχθηκαν για μια προσπάθεια να προσδιοριστεί η ικανότητα της γης του Καναδά με την επεξεργασία και την χαρτογράφηση πληροφοριών σχετικά με τα εδάφη, τη γεωργία, την αναψυχή, την άγρια ζωή, τα υδρόβια πτηνά, τη δασοκομία και τη χρήση της γης σε κλίμακα 1: 50.000. Οι δύο τελευταίες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα αποτέλεσαν ορόσημο για την εξέλιξη των Η/Υ και κατά συνέπεια και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, με την Εμφάνιση των Λειτουργικών συστημάτων (DOS και μεταγενέστερα Windows). Η Εφαρμογή MIDAS (που στην συνέχεια μετονομάστηκε σε MapInfo) ήταν η πρώτη εφαρμογή σε γραφικό περιβάλλον. Αυτή η εφαρμογή αποτέλεσε ορόσημο για την ευρεία χρήση των GIS και για την περαιτέρω εξέλιξη τους.



Εικόνα 3: MapInfo, μια από τις πρώτες εφαρμογές GIS.

Σήμερα υπάρχουν (εκτός των εμπορικών εφαρμογών GIS) πληθώρα βιβλιοθηκών προγραμματισμού και εφαρμογών ανοιχτού κώδικα (Opensource) με τις οποίες μπορεί ο οποιοσδήποτε να δημιουργήσει εφαρμογές GIS και να τις προσαρμόσει στις ανάγκες του (opensourcegis.org, 2013).

Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης των αγροτεμαχίων, μας παρέχει τη δυνατότητα για καλλιεργητικές επεμβάσεις με μεταβαλλόμενες δόσεις (Variable Rate Applications). Αυτή η δυνατότητα είναι και ο απώτερος σκοπός της Γεωργίας Ακριβείας, δηλαδή η εφαρμογή μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων για κάθε τμήμα του αγρού, ανάλογα με τις πραγματικές του, ανά περιοχή, ανάγκες. Αυτές οι εφαρμογές επιφέρουν εξοικονόμηση πόρων, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση των αγροτικών εκμεταλλεύσεων σε επίπεδο παραγωγού, αλλά και στην προστασία του περιβάλλοντος από την αλόγιστη χρήση των εισροών, που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας. Οι πιο σημαντικές εφαρμογές μεταβλητών καλλιεργητικών φροντίδων έχουν σημειωθεί σε εφαρμογές αρδευτικού νερού, εφαρμογές παρασιτοκτόνων καθώς και στην εφαρμογή λιπασμάτων και ειδικότερα σε N, P και K, όπως επίσης και στην εφαρμογή ασβέστη σε όξινα εδάφη (Γέμτος κ.ά., 2002).

Στη χώρα μας και γενικότερα στο Ευρωπαϊκό Νότο υπάρχει μια καθυστέρηση στην εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας. Αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των γεωργών έχει χαμηλό επίπεδο μόρφωσης, μικρές εκμεταλλεύσεις, είναι προσκολλημένοι στις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής και στις επιδοτήσεις των προϊόντων και δεν υπάρχουν ομάδες παραγωγών ή συνεταιρισμοί (Γέμος κ.ά., 2003). Σε αυτά τα προβλήματα έρχεται να προστεθεί η έλλειψη ενδιαφέροντος από την μεριά του κράτους, η έλλειψη ποικιλίας πειραμάτων εντός της Ελλάδας, η έλλειψη τεχνογνωσίας και κυρίως τα τελευταία χρόνια η συνεχώς αυξανόμενη οικονομική κρίση. Παρ' όλα αυτά, είναι επιτακτική η ανάγκη μείωσης του κόστους παραγωγής μέσω της περαιτέρω εκμηχάνισης της γεωργίας και μείωσης των εργατικών ημερομισθίων, όπως συμβαίνει στις χώρες του Βορρά. Επίσης ο αυξανόμενος καλλιεργούμενος κλήρος, όπως και η ανάγκη για ιχνηλασιμότητα των καλλιεργητικών επεμβάσεων θα έχουν ως άμεσο αποτέλεσμα τη χρησιμοποίηση πρακτικών, όπως η Γεωργία Ακριβείας και στις χώρες του Ευρωπαϊκού Νότου, όπως η Ελλάδα.

1.1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός λιπασματοδιανομέα για γραμμική λίπανση με δυνατότητα εφαρμογής λιπάσματος με μεταβλητές δόσεις. Η μεταβλητή λίπανση βασίζεται σε χάρτες εφαρμογής που δημιουργούνται από δεδομένα που συγκεντρώθηκαν το προηγούμενο διάστημα ή τα προηγούμενα έτη.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια βιβλιογραφική ανάλυση της Γεωργίας Ακριβείας. Αναλύονται επίσης, τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται όπως είναι το παγκόσμιο σύστημα προσδιορισμού θέσης (GPS), η χαρτογράφηση, τα Γεωργικά συστήματα Πληροφοριών (GIS), ο διαχωρισμός σε ζώνες διαχείρισης και η εφαρμογή μεταβλητών δόσεων.

2.1. ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής διαφοροποίησης των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την μη ορθολογική χρήση των εισροών (Γέμτος κ.ά., 2002). Η Γεωργία Ακριβείας βασίζεται σε τεχνολογίες και μέσα ικανά να καταγράψουν με ακρίβεια την υπάρχουσα κατάσταση στον αγρό, στη συνέχεια να διαχειριστούν τη συγκεντρωμένη πληροφορία και τα διάφορα δεδομένα και τέλος να εφαρμόσουν τις εισροές, έτσι ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες κάθε σημείου και χρονικής στιγμής ξεχωριστά (Καρυδάς και Συλλαίος, 2000). Σκοπός της είναι (Τσελές, 2011; Τάνος, 2007):

1. Να οδηγήσει σε καλύτερη επιλογή των γεωργικών πρακτικών, σε συνάρτηση με τις ανάγκες των καλλιεργειών σε μέρη του αγρού (ζώνες διαχείρισης).
2. Να μειώσει την υπερβολική χρήση χημικών και την υπέρμετρη χρήση γεωργικών μηχανημάτων.
3. Να ελαχιστοποιήσει τις αρνητικές επιπτώσεις της γεωργίας στο περιβάλλον.
4. Να εξοικονομηθεί ενέργεια.
5. Να μπορέσει να δώσει αυξημένη παραγωγή καλύτερης ποιότητας, αυξάνοντας το εισόδημα του καλλιεργητή.

Ένας από τους βασικούς σκοπούς της Γεωργίας ακριβείας, όπως αναγράφεται και παραπάνω, είναι η βελτίωση της παραγωγικότητας του αγρού και κατά συνέπεια η εξοικονόμηση πόρων. Για να επιτευχθεί αυτό, πρέπει να υπάρχει η απαραίτητη γνώση των ιδιοτήτων για τα διάφορα τμήματα του αγροκτήματος, ώστε στη συνέχεια να προσαρμοστούν οι χρησιμοποιούμενες εισροές και καλλιεργητικές πρακτικές ανάλογα με τις ιδιαίτερες ανάγκες του κάθε σημείου. Η γνώση αυτών των ιδιοτήτων έρχεται μέσω της συγκέντρωσης, ερμηνείας και ανάλυσης των τιμών ορισμένων παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 4: Συνεργασία τεχνολογιών στα πλαίσια της γεωργίας ακριβείας.

Η χρήση της γεωργίας ακριβείας επιτρέπει στους αγρότες να αξιοποιήσουν την παραλλακτικότητα που εμφανίζεται στο αγρόκτημα, προσαρμόζοντας τις καλλιεργητικές φροντίδες σύμφωνα με τις απαιτήσεις του εδάφους και τις πραγματικές ανάγκες των φυτών. Αυτό επιτυγχάνεται με τον διαχωρισμό των αγροκτημάτων σε περιοχές ή ζώνες με ομοιόμορφα χαρακτηριστικά που επιδέχονται κοινή διαχείριση (Λιάκος, 2013). Όμως ακόμα και αν ο αγρός έχει παραλλακτικότητα δεν σημαίνει πάντα ότι έχει νόημα η εφαρμογή Γεωργίας Ακριβείας σε αυτόν. Πρέπει να μετρηθεί το μέγεθος της παραλλακτικότητας, να βρεθούν οι αιτίες που την προκαλούν και στο τέλος να βρεθεί ο τρόπος για σωστή διαχείριση της παραλλακτικότητας (Αγγελοπούλου, 2008).

2.1.1. ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑ

Έχει γίνει σαφές από τα παραπάνω ότι, η διαφορά μεταξύ της ως σήμερα (παραδοσιακής) γεωργίας των μέσων όρων και της «νέας» γεωργικής πρακτικής ακριβείας, βρίσκεται στον τρόπο που κάθε μια αντιμετωπίζει τα αγροκτήματα. Ενώ δηλαδή η συμβατική γεωργία αντιμετωπίζει τα αγροτεμάχια ως ομοιόμορφα, βασισμένη σε μέσους όρους, η Γεωργία ακριβείας αναγνωρίζει, καταγράφει και διαχειρίζεται την εγγενή ή επίκτητη, ως προς τον χώρο και τον χρόνο, παραλλακτικότητα τους.

Όσον αφορά το χαρακτήρα της, η παραλλακτικότητα διακρίνεται σε (Καρυδάς και Συλλαίος, 2005):

1. Χωρική παραλλακτικότητα, η οποία γίνεται αντιληπτή ως μεταβολή των ιδιοτήτων και των χαρακτηριστικών του εδάφους, της καλλιέργειας ή άλλων παραμέτρων του αγροτεμαχίου, με την αλλαγή θέσης μέσα στο αγροτεμάχιο.
2. Χρονική παραλλακτικότητα, η οποία γίνεται αντιληπτή ως μεταβολή όλων των παραπάνω παραμέτρων, με το χρόνο.
3. Προβλεπτική παραλλακτικότητα, η οποία γίνεται αντιληπτή ως ασυμφωνία μεταξύ των προβλεπόμενων και των πραγματικών τιμών για τις διάφορες θέσεις μέσα στο αγροτεμάχιο, ή τις διάφορες καλλιεργητικές χρονιές. Είναι η μεταβαλλόμενη στον χώρο, διαφορά ανάμεσα στις πραγματικές και στις προβλεπόμενες τιμές των αποδόσεων.

Όσον αφορά τις παραμέτρους που παραλλάσσουν, διακρίνονται σε (Καρυδάς και Συλλαίος, 2005):

1. Εδαφικές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η υφή, η δομή, η οργανική ουσία, η υδατοϊκανότητα, τα θρεπτικά στοιχεία, η Ικανότητα Ανταλλαγής Κατιόντων (CEC), η σκληρότητα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, το βάθος του επιφανειακού εδάφους, κ.ά.
2. Βιολογικές, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται η γενετική παραλλακτικότητα των φυτών (κυρίως αυτών που πολλαπλασιάζονται με σπόρο), οι μικροβιακοί πληθυσμοί του εδάφους, οι πληθυσμοί των ζιζανίων, οι πληθυσμοί των εντόμων, οι ασθένειες, η ανάπτυξη της

καλλιέργειας και η απόδοση της συγκομιζόμενης καλλιέργειας. Η πιο συνήθης βιολογική παράμετρος που παραλλάσσει είναι η απόδοση της καλλιέργειας, η διαφορά της οποίας από σημείο σε σημείο είναι πολλές φορές εντυπωσιακή.

3. Εξέλιξης της κατάστασης, με σημαντικότερη παράμετρο το άζωτο, το οποίο στην εδαφική κατατομή εκφράζει την ισορροπία που υπάρχει ανάμεσα σε μία σειρά από διαδικασίες. Ανάμεσά τους η ανοργανοποίηση, η ακινητοποίηση, η απονιτροποίηση, η εξαέρωση, η νιτροποίηση, η απορρόφηση, η πρόσληψη από τα φυτά και η έκπλυση. Με αυτές τις διαδικασίες σχετίζονται ιδιότητες του εδάφους, όπως η περιεκτικότητα σε νερό, η θερμοκρασία, το pH, η υφή, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και η κατάσταση στράγγισης (Mulla and Schepers, 1997). Εφόσον οι ιδιότητες αυτές παραλλάσσουν χωρικά, τότε και η εξέλιξη των παραπάνω διαδικασιών παραλλάσσει χωρικά.

Για την ανίχνευση της παραλλακτικότητας και του βάθους της, χρησιμεύουν οι χάρτες παραγωγής. Για να διαπιστωθεί η αιτία της παραλλακτικότητας χρησιμοποιείται μια μεγάλη ποικιλία αισθητήρων, η τηλεπισκόπηση, οι εργαστηριακές αναλύσεις, οι παρατηρήσεις στον αγρό και άλλα μέσα συγκέντρωσης στοιχείων. Η γεωγραφική πληροφορία στα δεδομένα προσφέρεται από τα συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS).

2.1.2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙ Η ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

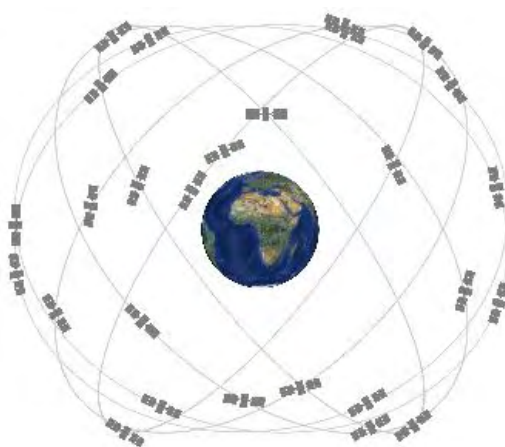
Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται από την γεωργία ακριβείας έχουν σχέση με όλα τα στάδια παραγωγής από την σπορά ως την συγκομιδή και είναι οι εξής (Καρυδάς κ.ά., 2000):

1. GPS.
2. GIS.
3. Μετρήσεις στο πεδίο.
4. Χαρτογράφηση.
5. Τηλεπισκόπηση.
6. Διαχωρισμός ζωνών διαχείρισης.
7. Τεχνολογία διαφοροποιημένης δόσης (VRA).

2.2. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ (GPS)

Η γεωργία ακριβείας δεν θα ήταν εύκολη υπόθεση, ούτε θα ήταν τόσο «ακριβείας» εάν δεν υπήρχε η δυνατότητα να δημιουργηθεί ένας χάρτης με τις διάφορες ζώνες διαχείρισης του αγροκτήματος. Η χαρτογράφηση, τα τελευταία χρόνια, έχει γίνει μια πολύ εύκολη υπόθεση, στην οποία έχουν εμπλακεί πολλοί κρατικοί και ιδιωτικοί φορείς. Σε αυτό συνέβαλε η εξάπλωση τεχνολογιών που βασίζονται στην πληροφορική, οι οποίες, εκτός των άλλων, παρέχουν εργαλεία που βοηθούν στην δημιουργία χαρτών. Οι κύριες τεχνολογίες αυτού του είδους είναι τα συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS) και τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) (Αδαμακόπουλος κ.ά., 2002).

Το NAVSTAR/G.P.S. (NAVigation System with Timing And Ranging-Global Positional System) ή απλά GPS, είναι ένα δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού θέσης, με τη βοήθεια του οποίου μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θέση ενός σημείου παρατήρησης συντεταγμένων Χ,Υ,Ζ, ως προς ένα κατάλληλο σύστημα αναφοράς, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες (Φωτίου κ.ά., 2003).



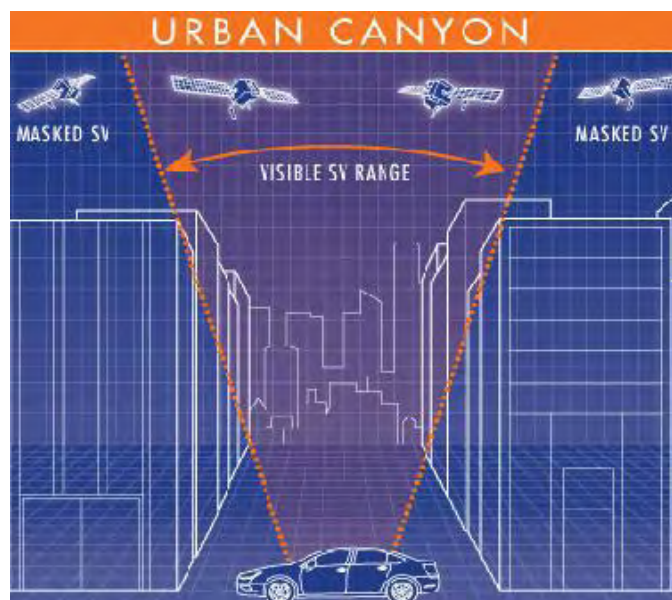
Εικόνα 5: Το Δορυφορικό πλέγμα του GPS

Για τον προσδιορισμό της θέσης μέσω του συστήματος αυτού, είναι απαραίτητη η χρήση ενός δέκτη. Σήμερα υπάρχουν διάφοροι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα και την ακρίβεια του σήματος ενός δέκτη. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται από την κατασκευή και τεχνολογία που

χρησιμοποιείται σε αυτόν, το περιβάλλον, το δορυφορικό σύστημα, και πολλές φορές καθιστούν την χρήση του GPS αδύνατη.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια του δέκτη είναι (Φωτίου κ.ά., 2003; Παπαοικονόμου, 2003):

1. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται στον δέκτη GPS.
2. Ο αριθμός των δορυφόρων από τους οποίους λαμβάνει σήματα ο δέκτης καθώς και οι σχετικές θέσεις τους.
3. Η επιλεκτική διαθεσιμότητα του συστήματος.
4. Η εγκατάσταση του συστήματος.
5. Η ικανότητα διαφορικής διόρθωσης του συστήματος.
6. Οι παραμορφώσεις των δορυφορικών σημάτων που μπορεί να οφείλονται στην παρεμβολή αντικειμένων της περιοχής (κτίρια κλπ.)
7. Οι επιδράσεις της ιονόσφαιρας και της τροπόσφαιρας
8. Πιθανά σφάλματα των δεκτών ή και των δορυφορικών χρονομέτρων.
9. Τα τροχιακά σφάλματα, δηλαδή λανθασμένες πληροφορίες που εκπέμπονται από τους δορυφόρους σχετικά με την τροχιά τους.
10. Η ανάκλαση του σήματος από αντικείμενα της περιοχής πριν αυτό καταλήξει στον δέκτη.



Εικόνα 6: "αστικές χαράδρες" ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του GPS.

2.2.1. ΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ GPS

Το GPS αποτελείται από τρία λειτουργικά μέρη:

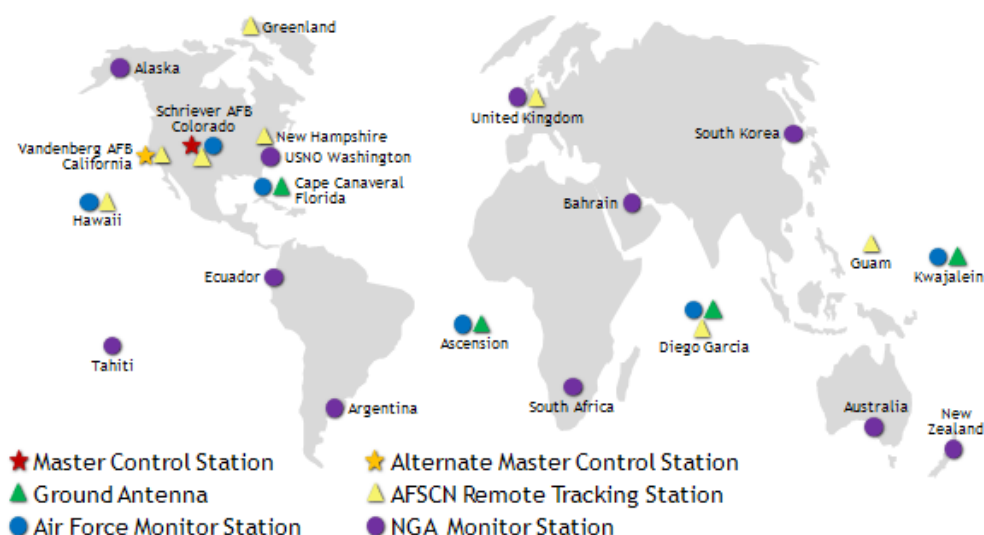
1. Το δορυφορικό τμήμα.
2. Το τμήμα ελέγχου.
3. Το τμήμα χρήσης.

Το δορυφορικό τμήμα αποτελείται από 31 δορυφόρους. Το δορυφορικό πλέγμα βρίσκεται σε απόσταση 20.000 km από την επιφάνεια της Γης και απαρτίζεται από 6 τροχιακά επίπεδα τα οποία σχηματίζουν γωνία 60° μεταξύ τους και 55° με τον ισημερινό. Κάθε δορυφόρος κάνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από την Γη σε 12 ώρες. Έτσι εξασφαλίζεται η ύπαρξη σήματος από τουλάχιστον 4 δορυφόρους σε οποιοδήποτε σημείο της Γης 24 ώρες την μέρα.

Οι δορυφόροι εκπέμπουν 4 σήματα σε διάφορες συχνότητες. Το L1 είναι στα 1,57542 GHz, και περιέχει έναν ακριβή κώδικα C/A (Coarsel/Acquisition Code), έναν P(Y) (encrypted precision) και έναν κρυπτογραφημένο κώδικα W. Ο πρώτος περιέχει πληροφορίες οι οποίες δίνουν την δυνατότητα στον δέκτη να αναγνωρίζει πολλαπλούς δορυφόρους που εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα. Ο Δεύτερος μαζί με τον W διαμορφώνει τον κώδικα Y για στρατιωτικούς σκοπούς. Ένας δέκτης GPS όμως πρέπει να έχει αναλυτικές πληροφορίες για την πρόβλεψη της θέσης του δορυφόρου κάθε στιγμή, χρονικές καθυστερήσεις των δορυφορικών χρονομέτρων κ.α. Για αυτό ένας κώδικας υπερτίθεται στην συχνότητα L1 και λέγεται μήνυμα πλοήγησης (Navigation Message). Εκτός του Σήματος L1, υπάρχουν και τα σήματα L2 και L3. Το σήμα L2 εκπέμπεται στα 1,2276 GHz και αποτελείται μόνο από τον κώδικα P(Y). Το L2 και το L3, που εκπέμπεται στα 1,38105 GHz χρησιμοποιούνται αποκλειστικά από τον στρατό. Το 2011 έγινε η πρώτη εκπομπή ενός ακόμα σήματος στα 1,17645 GHz το οποίο παρέχει υποστήριξη σε εφαρμογές ασφάλειας της ζωής (Dunn, 2013). Ο κάθε δορυφόρος είναι επίσης εξοπλισμένος με 4 ατομικά ρολόγια (δύο καισίου και δύο ρουβιδίου). Τα ατομικά ρολόγια μετρούν το χρόνο με βάση τις φυσικές περιοδικές κινήσεις των ατόμων και είναι μεγάλης ακριβείας (Δερμάνης, 1999). Οι δορυφόροι διαθέτουν συστήματα επικοινωνιών,

υπολογιστές και διάφορα βοηθητικά συστήματα. Δύο ηλιακοί συσσωρευτές παρέχουν ισχύ 710 W που απαιτείται για την λειτουργία των συστημάτων ελέγχου (Αγγελοπούλου, 2005).

Το τμήμα ελέγχου GPS αποτελείται από ένα παγκόσμιο δίκτυο επίγειων εγκαταστάσεων που καταγράφουν τους δορυφόρους GPS, παρακολουθούν τις μεταδόσεις τους, πραγματοποιούν αναλύσεις, και στέλνουν εντολές και δεδομένα στους δορυφόρους. Το τμήμα αυτό αποτελείται σήμερα από ένα κύριο σταθμό κεντρικού ελέγχου, έναν εναλλακτικό σταθμό κεντρικού ελέγχου, δώδεκα κεραίες χειρισμού και ελέγχου, και δεκαέξι σημεία παρακολούθησης όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα 7: Χάρτης του τμήματος ελέγχου του GPS.

Οι σταθμοί παρακολούθησης είναι εφοδιασμένοι με δέκτες που λαμβάνουν τα σήματα που εκπέμπουν συνεχώς οι δορυφόροι, τα οποία μετά από κάποια επεξεργασία μεταδίδονται στον κεντρικό σταθμό ελέγχου. Ο κεντρικός σταθμός ελέγχου χρησιμοποιεί αυτές τις πληροφορίες για να υπολογίσει τις ακριβείς τροχιές των δορυφόρων και να ενημερώνει τα σήματα πλοήγησης (www.gps.gov).

Το τμήμα χρήσης αποτελείται από τους χρήστες που είναι οι πολίτες και ο στρατός που χρησιμοποιούν το GPS για τον προσδιορισμό της θέσης ενός ανθρώπου ή ενός οχήματος στη γη. Οι δέκτες GPS που χρησιμοποιούν οι πολίτες δεν χρειάζονται άδεια λειτουργίας επειδή δεν στέλνουν σήματα

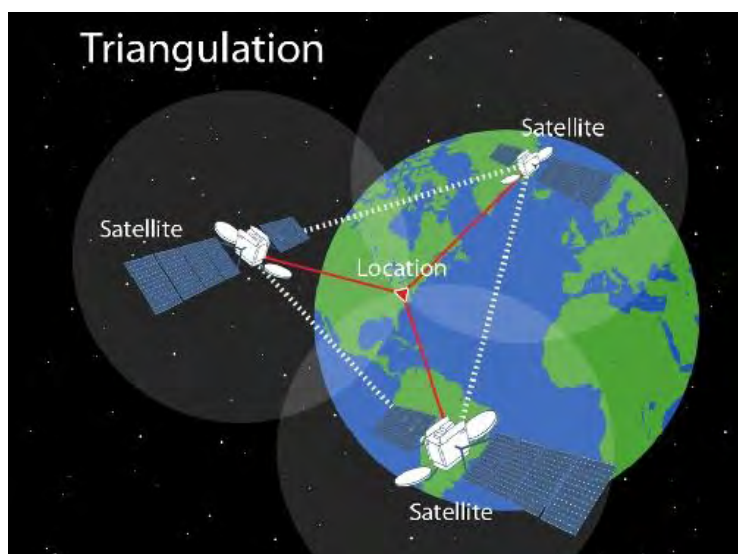
αλλά μόνο λαμβάνουν. Επίσης δεν υπάρχει οικονομική επιβάρυνση για την χρήση των δορυφορικών σημάτων του GPS.

2.2.2. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕΣΩ GPS

Ο προσδιορισμός της θέσης ενός σημείου υπολογίζεται σε 5 βήματα (Blewitt, 1997; Βουκάντσης, 2008):

1. Διαδικασία «τριγωνισμού» (triangulation).
2. Μέτρηση απόστασης από τους δορυφόρους.
3. Συγχρονισμός ρολογιών δέκτη – δορυφόρου.
4. Εύρεση της θέσης των δορυφόρων.
5. Διόρθωση καθυστερήσεων του σήματος

Το πρώτο στάδιο έχει να κάνει με τον τριγωνισμό, δηλαδή με τον συνδυασμό σημάτων για την θέση του δέκτη από τρεις δορυφόρους. Ο αριθμός των δορυφόρων που χρειάζονται είναι τρεις.



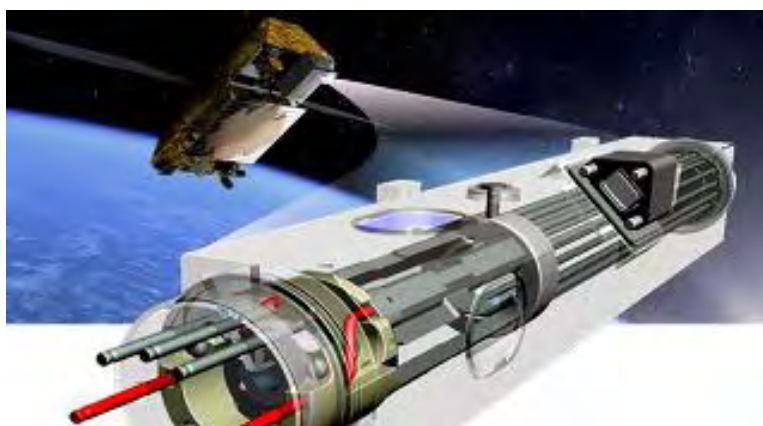
Εικόνα 8: Εικονική αναπαράσταση του τριγωνισμού.

Με ένα δορυφόρο, η πιθανή θέση του δέκτη βρίσκεται σε μια σφαίρα που κέντρο έχει τον δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση δορυφόρου-δέκτη. Όμως εκτός από την επιφάνεια της πρώτης σφαίρας, ο δέκτης βρίσκεται επίσης και στην επιφάνεια μιας δεύτερης σφαίρας, η οποία ως κέντρο έχει το δεύτερο δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση που απέχουμε από αυτόν. Δηλαδή, η τοποθεσία του δέκτη είναι κάπου στην τομή των δύο αυτών

σφαιρών. Εάν πάρουμε και μία ακόμη μέτρηση από έναν τρίτο δορυφόρο, τότε εκτός από τον κύκλο που σχηματίζεται από την τομή των δύο πρώτων σφαιρών, ο δέκτης βρίσκεται και στην επιφάνεια μιας τρίτης σφαίρας, η οποία ως κέντρο έχει τον τρίτο δορυφόρο και ακτίνα την απόσταση που απέχει από αυτόν. Όμως η επιφάνεια μιας σφαίρας τέμνεται με την περιφέρεια ενός κύκλου σε δύο μόνο σημεία. Αλλά, συνήθως είναι προφανές, ότι αποκλείεται ο δέκτης να βρίσκεται σε ένα από τα δύο σημεία (είτε γιατί αυτό βρίσκεται στο άλλο ημισφαίριο, είτε γιατί αυτό βρίσκεται πολύ μακριά από τη γη) και έτσι μπορούμε να το απορρίψουμε χωρίς να κάνουμε καμία επιπλέον μέτρηση. Εντούτοις, μία τέταρτη μέτρηση χρειάζεται για το συγχρονισμό του ρολογιού του δέκτη μας με τον παγκόσμιο χρόνο.

Στην αρχή, όμως, πρέπει να υπολογιστεί η απόσταση του δέκτη από τους δορυφόρους. Αυτό επιτυγχάνεται μετρώντας το χρόνο που χρειάζεται ένα ραδιο-σήμα να φθάσει από το δορυφόρο στο δέκτη (χρόνος μετάδοσης του σήματος). Ο χρόνος αυτός πολλαπλασιαζόμενος με την ταχύτητα μετάδοσης του ραδιο-σήματος (ως ηλεκτρομαγνητικό σήμα, η ταχύτητά του ισούται με την ταχύτητα του φωτός, δηλ. 300.000 km/s) μας δίνει την απόσταση που απέχει ο δορυφόρος από το δέκτη. Το πρόβλημα που προκύπτει είναι το, πώς μπορεί να μετρηθεί ο χρόνος μετάδοσης του ραδιο-σήματος αυτού. Ο δέκτης GPS παράγει έναν ψευδο-τυχαίο κώδικα (pseudo-random code), ο οποίος είναι ακριβές αντίγραφο του κώδικα που παράγει ο δορυφόρος. Ο κώδικας στο δέκτη είναι καταχωρημένος στη βάση δεδομένων του και παράγεται ταυτόχρονα με τον κώδικα του δορυφόρου (όταν ο δορυφόρος και ο δέκτης είναι συγχρονισμένοι μεταξύ τους). Ο δέκτης συγκρίνει τον κώδικα που παράγει ο ίδιος με τον κώδικα που λαμβάνει από το δορυφόρο και προσπαθεί να τους ταιριάξει. Επειδή όμως ο κώδικας του δορυφόρου διανύει μία μεγάλη απόσταση, έρχεται στο δέκτη με κάποια χρονική καθυστέρηση, η οποία φαίνεται και σαν διαφορά φάσης. Για να υπολογίσει το χρόνο καθυστέρησης του σήματος από το δορυφόρο, ο δέκτης ολισθαίνει χρονικά προς τα πίσω τον δικό του κώδικα, μέχρι να τον ταιριάξει με τον κώδικα του δορυφόρου. Το μέγεθος της χρονικής ολίσθησης ισούται με το χρόνο μετάδοσης του σήματος από το δορυφόρο στο δέκτη.

Για να υπολογιστεί όμως ο χρόνος μετάδοσης πρέπει να υπάρχει απόλυτος συγχρονισμός μεταξύ του δέκτη και των δορυφόρων, διότι μια λανθασμένη χρονομέτρηση, έστω και ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου, πολλαπλασιαζόμενη με την ταχύτητα του φωτός μεταφράζεται σε 300 km σφάλμα. Στους δορυφόρους η χρονομέτρηση είναι σχεδόν τέλεια από την στιγμή που αναλαμβάνετε από 4 ατομικά ρολόγια μεγάλης ακριβείας, όμως αυτά τα ρολόγια είναι οικονομικά ασύμφορα για χρήση σε απλούς δέκτες. Έτσι στους δέκτες GPS χρησιμοποιούνται ρολόγια τύπου quartz και ο συγχρονισμός τους γίνεται μέσω μιας επιπλέον μέτρησης απόστασης από έναν τέταρτο δορυφόρο. Με αυτήν την μέτρηση εξαλείφονται τυχόν σφάλματα που οφείλονται σε χρονικές διαφορές μεταξύ του δέκτη και των δορυφόρων.

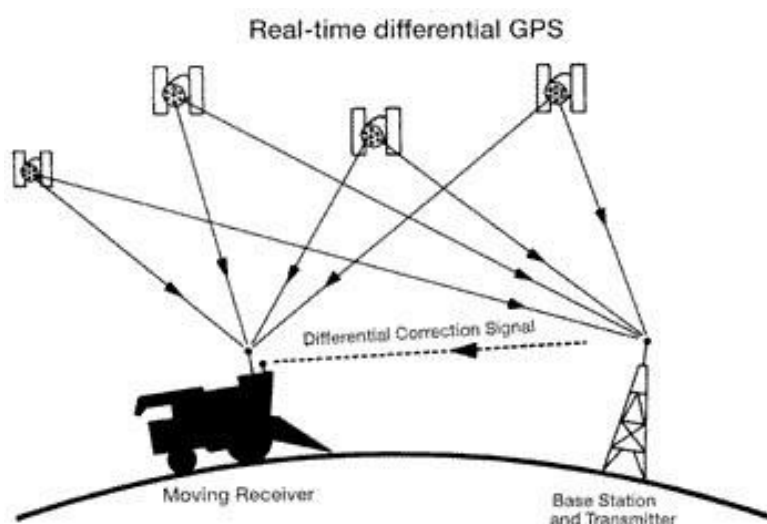


Εικόνα 9: Εικονική αναπαράσταση ατομικών ρολογιών μεγάλης ακριβείας.

Για να λειτουργήσει, όμως, σωστά η μέθοδος της τριγωνοποίησης, δεν αρκεί να υπολογιστεί μόνο η απόσταση από τους δορυφόρους, αλλά θα πρέπει, να είναι γνωστή και η θέση των δορυφόρων. Αυτό γίνεται μέσω του μηνύματος πλοήγησης. Οι δορυφόροι αναμεταδίδουν αυτό το μήνυμα μαζί με το σήμα L1, όμως σε πολύ πιο αργό ρυθμό από ότι τα μηνύματα C/A και P(Y). Αυτό το μήνυμα περιέχει, εκτός των άλλων, διορθώσεις σε τυχόν σφάλματα στην τροχιά και στα χρονόμετρα των δορυφόρων. Αυτές οι διορθώσεις αποθηκεύονται στα ημερολόγια που έχουν οι επίγειοι δέκτες και συνεπώς η θέση των δορυφόρων είναι πάντα γνωστή.

2.2.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΟΥ GPS

Η ακρίβεια του συστήματος GPS κυμαίνεται μεταξύ 1-3 μέτρων. Για αυτό δημιουργήθηκαν συστήματα που βελτιώνουν την ακρίβεια του σήματος φτάνοντας ακόμα και σε ακρίβεια ενός εκατοστού. Τα πιο γνωστά είναι τα D-GPS και RTK – GPS.



Εικόνα 10: Αναπαράσταση του συστήματος DGPS.

Το DGPS είναι ένας τύπος GPS που χρησιμοποιεί ένα σήμα από επίγειους δέκτες για να διορθώσει το σφάλμα που υπάρχει. Το σήμα αυτό προέρχεται από επίγειους σταθμούς των οποίων η θέση είναι γνωστή και λαμβάνοντας οι ίδιοι το σήμα από τους δορυφόρους κάνουν τη διόρθωση και εκπέμπουν το σφάλμα. Η ακρίβεια του συστήματος κυμαίνεται μεταξύ 30cm-1m (Gale, 2014). Αξίζει να αναφερθεί ότι υπάρχουν παρόμοια συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν δορυφόρους για εκπομπή διόρθωσης του σφάλματος αντί για σταθμούς εδάφους. Αυτά τα συστήματα λέγονται D-GPS ευρείας περιοχής (WADGPS) (Kee et al., 1991), και τα πιο γνωστά από αυτά είναι τα: EGNOS (Ευρώπη), WAAS (USA), SDMC (Ρωσία), και για γεωργικές εφαρμογές το Starfire (John Deere).

Το RTK GPS είναι μια τεχνική προσδιορισμού θέσης που βασίζεται στη μέτρηση του φέροντος σήματος του GPS όπου, ένας επίγειος σταθμός παρέχει τη διόρθωση σε πραγματικό χρόνο με ακρίβεια ακόμη και ενός εκατοστού. Το RTK GPS αποτελείται από ένα σταθερό σταθμό στα όρια του αγρού (reference receiver), που λαμβάνει σήμα από τους δορυφόρους και

εκπέμπει σήμα προς το δέκτη GPS που κινείται στο χωράφι. Ο δέκτης, εκτός από τα δεδομένα του σταθερού σταθμού, λαμβάνει και τις δικές του μετρήσεις που τις συνδυάζει με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μεγάλη ακρίβεια στον προσδιορισμό θέσης.



Εικόνα 11: RTK-GPS, Σταθερός σταθμός διόρθωσης σφάλματος

Η επικοινωνία μεταξύ των δυο δεκτών απαιτεί ειδικό λογισμικό καθώς και ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας. Η επικοινωνία των περισσότερων λογισμικών που παρέχουν σε πραγματικό χρόνο πληροφορίες θέσης, ταχύτητας και χρόνου, υπολογισμένες από δέκτες GPS, γίνεται με τη χρήση του μηνύματος NMEA. Ο όρος NMEA (National Maritime Electronics Association) εκφράζει ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας μεταξύ διαφόρων τύπων ηλεκτρονικών συσκευών και κατά συνέπεια και μεταξύ δεκτών GPS (Φωτίου, 2006).

Τα δεδομένα που εκπέμπονται, σχετίζονται με τις ψευδοαποστάσεις και τις φάσεις με ένα πρότυπο διορθώσεων που πρέπει να εφαρμόσει ο κινούμενος δέκτης στις δικές του παρατηρήσεις, ώστε να προσδιορίσει τη θέση του. Ο δέκτης αναφοράς παίζει το ρόλο ενός ψευδο-δορυφόρου που εκπέμπει δεδομένα στο κινούμενο δέκτη. Ο σχετικός κινηματικός προσδιορισμός θέσης σε πραγματικό χρόνο με RTK, γίνεται με χρήση των ψευδοαποστάσεων για τον προσδιορισμό της θέσης σε πραγματικό χρόνο και των φάσεων. Αρχικά υπολογίζονται οι διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων βάσει των γνωστών συντεταγμένων του δέκτη αναφοράς (reference receiver), δηλαδή γίνεται

αφαίρεση της γνωστής γεωμετρικής απόστασης από την αντίστοιχη ψευδοαπόσταση ενώ εκτός από τους παραπάνω υπολογισμούς, θα πρέπει να επιλυθούν και οι ασάφειες φάσης τόσο για το σταθερό δέκτη όσο και για τον κινούμενο. Τη μέθοδο RTK θα μπορούσαμε να την χαρακτηρίσουμε και ως μέθοδο DGPS με παρατηρήσεις φάσης.

Και στις δύο περιπτώσεις παρουσιάζεται το εξής πρόβλημα: Ο υπολογισμός των διορθώσεων των ψευδοαποστάσεων και η μετάδοσή τους στον κινούμενο δέκτη απαιτεί κάποιο χρονικό διάστημα, οπότε ο κινούμενος δέκτης θα λαμβάνει τις διορθώσεις αυτές σε διαφορετικό χρόνο σε σχέση με τις δικές του μετρήσεις. Η λύση γι' αυτό το πρόβλημα δίνεται μέσω του υπολογισμού ενός προτύπου πρόγνωσης για τις διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων. Αυτό επιτυγχάνεται από επαναλαμβανόμενες μετρήσεις που πραγματοποιεί ο σταθερός δέκτης, έτσι ώστε να έχει μέσα σε κάποιο χρόνο έναν ικανοποιητικό αριθμό ψευδοαποστάσεων για τον υπολογισμό του μοντέλου. Τα αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από το μοντέλο πρόγνωσης, λαμβάνονται από τον κινητό δέκτη ο οποίος στη συνέχεια μπορεί να υπολογίσει τις διορθώσεις των ψευδοαποστάσεων για τον τρέχοντα χρόνο που μετρά τις δικές του ψευδοαποστάσεις και να τις διορθώσει (Αγγελοπούλου, 2005).

1.2.4. GPS ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

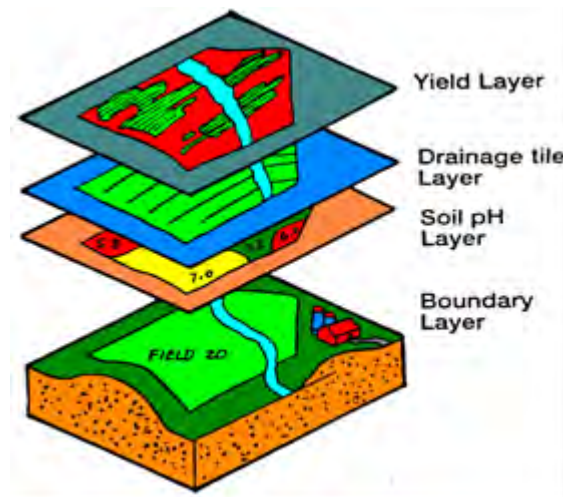
Η χρήση του GPS και η εξάπλωση του στον αγροτικό τομέα είναι ραγδαία, βρίσκοντας συνεχώς εφαρμογές σε πλήθος εργασιών. Συστήματα GPS χρησιμοποιούνται για την αυτόματη πλοήγηση των μηχανημάτων, για τον ακριβή προσδιορισμό των θέσεων εγκατάστασης αισθητήρων, για την καταγραφή των σημείων λήψης δειγμάτων, για χαρτογράφηση και δημιουργία του ανάγλυφου του αγρού.

2.3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (GIS)

Για την εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις, αλλά και γενικά για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας θα πρέπει, πριν την λήψη αποφάσεων, να επεξεργαστούμε τις διαθέσιμες πληροφορίες. Όταν ένας αγρός είναι πολύ μικρός σε μέγεθος και ο γεωργός τον γνωρίζει, τότε η λήψη μιας απόφασης είναι πολύ εύκολη. Όμως, τα τελευταία χρόνια, ο γεωργικός κλήρος μεγαλώνει και κατά συνέπεια μεγαλώνει και ο όγκος των πληροφοριών που θα πρέπει να επεξεργαστεί κάποιος, έτσι ώστε να φτάσει σε μια απόφαση για το πώς θα διαχειριστεί τον εκάστοτε αγρό. Είναι αδύνατον, ένας άνθρωπος ή μια ομάδα ανθρώπων να επεξεργαστεί δεδομένα και πληροφορίες που αφορούν το έδαφος, τις καλλιέργειες, την ιστορία ενός αγρού, το κλήμα και άλλα, καθώς και τις αλληλεπιδράσεις αυτών, με τέτοιο τρόπο ώστε αυτό να γίνει οικονομικά και γρήγορα. Η εξέλιξη της τεχνολογίας, οδήγησε στην δημιουργία συστημάτων τα οποία επεξεργάζονται με ταχύτητα γεωγραφικές πληροφορίες για την λήψη αποφάσεων. Αυτά τα συστήματα ονομάστηκαν Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems).

Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι τα σημαντικότερα εργαλεία στη Γεωργία Ακριβείας. Πρόκειται για υπολογιστικά συστήματα σχεδιασμένα να υποστηρίζουν τη συλλογή, διαχείριση, επεξεργασία, ανάλυση, μοντελοποίηση και απεικόνιση δεδομένων που αναφέρονται στο χώρο (συνδεδεμένα με συντεταγμένες) και μεταβάλλονται στο χρόνο (Longley et al., 2005). Σημαντική δυνατότητα αυτών των συστημάτων, που τα διαφοροποιεί από τη συνήθη απεικόνιση των δεδομένων, είναι η δυνατότητα συνδυασμού μη όμοιων δεδομένων σε μια κοινή βάση δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά περιέχουν πληροφορίες σχετικές με το ανάγλυφο της επιφάνειας της Γης, τα χαρακτηριστικά και τα στοιχεία που την απαρτίζουν (National Research Council, 1997).

Τα δεδομένα της βάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πολλούς χρήστες, να επεξεργάζονται, να εμπλουτίζονται και γενικά να αποτελούν μια δυναμική πηγή δεδομένων.



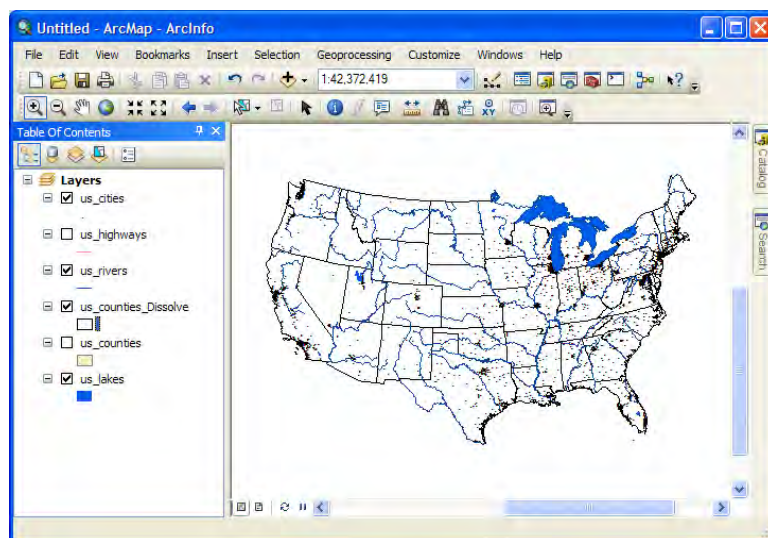
Εικόνα 12: Επίπεδα καταγεγραμμένων πληροφοριών.

Ένα GIS λογισμικό αποτελείται από τα παρακάτω στοιχεία (Αγγελοπούλου, 2008):

- Ένα σύστημα εισαγωγής χωρικών δεδομένων το οποίο εισάγει πληροφορίες που προέρχονται από χάρτες, δορυφορικές εικόνες, πολυφασματικές φωτογραφίες κ.α.
- Ένα σύστημα αποθήκευσης και οργάνωσης βάσης Δεδομένων.
- Ένα σύστημα εμφάνισης δεδομένων που περιλαμβάνει αποτελέσματα ανάλυσης που εμφανίζονται ή καταχωρούνται όπως πίνακες, χάρτες και σχήματα που εμφανίζονται στην οθόνη ή καταχωρούνται στην μνήμη του Η/Υ.
- Ένα σύστημα ανάλυσης δεδομένων που περιλαμβάνει όλα τα εργαλεία για την απομάκρυνση λαθών από τα δεδομένα, τον υπολογισμό των επιφανειών, παραμέτρων, την αλλαγή κλίμακας χαρτών, τη γεωστατική ανάλυση των δεδομένων.
- Ένα σύστημα αλληλεπίδρασης με το χρήστη που περιλαμβάνει μενού και εντολές που χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία του χρήστη με το πρόγραμμα.

Το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δεδομένων από ένα πρόγραμμα GIS εμφανίζεται με την μορφή χάρτη για την καλύτερη κατανόηση από τον χρήστη. Το βασικό πλεονέκτημα της χρήσης των GIS απέναντι στους απλούς χάρτες είναι ότι τα δεδομένα αλληλεπιδρούν με τους χάρτες μετά από εντολή

του χρήστη. Έτσι μπορούμε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα ενός αγρού και το αποτέλεσμα της επεξεργασίας να εμφανιστεί άμεσα στο χάρτη.



Εικόνα 13: Λογισμικό GIS.

Τα εξειδικευμένα λογισμικά GIS δίνουν δυνατότητες στο χρήστη όπως (Φλωράς, 2004):

- Την ικανότητα πρόβλεψης της παραγωγής.
- Την αποτελεσματικότερη χρήση των εισροών (λιπάσματα, άρδευση) που οδηγεί σε μείωση του κόστους παραγωγής και σε αειφορία.
- Την δυνατότητα συγκομιδής ανάλογα με τις ποιοτικές προδιαγραφές βελτιώνοντας το εισόδημα του παραγωγού.
- Να βοηθήσει στην εξασφάλιση της ποιότητας σύμφωνα με διάφορα πρωτόκολλα (ISO, HACCP).
- Τη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων εύκολα και γρήγορα.

Όμως, αν και τα πλεονεκτήματα των συστημάτων είναι πολλά, υπάρχουν και μειονεκτήματα. Το βασικό μειονέκτημα των GIS είναι η εξάρτησή τους από την τεχνολογία. Δύο επιπλέον μειονεκτήματα είναι η πολυπλοκότητα των λογισμικών αυτών και η δυσκολία εκμάθησής τους έτσι ώστε η χρήση καθώς και η ερμηνεία των χωρικών στοιχείων να μην γίνεται ούτε εύκολα ούτε αποτελεσματικά σε πολλές περιπτώσεις. Αυτή η κατάσταση αλλάζει γρήγορα όμως, δεδομένου ότι αναπτύσσονται λογισμικά GIS φιλικά προς τον χρήστη, οι εταιρίες διοργανώνουν σεμινάρια εκμάθησης, αλλά και οι γεωργοί εκσυγχρονίζονται και ενδιαφέρονται για τις νέες τεχνολογίες.

2.3.1. GIS ΚΑΙ ΑΝΟΙΚΤΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ

Λογισμικά ανοικτού κώδικα είναι λογισμικά των οποίων ο κώδικας είναι προσβάσιμος ελεύθερα από τον χρήστη, μπορεί να τροποποιηθεί κατά βούληση και να χρησιμοποιηθεί αποκλειστικά για μη εμπορική χρήση.

Με την είσοδο των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών στην γεωργία, οι παραγωγοί απέκτησαν ένα μέσο καταγραφής και επεξεργασίας πληροφοριών, το οποίο διευκόλυνε την λήψη αποφάσεων. Όμως όπως συμβαίνει και με όλα τα εξειδικευμένα συστήματα, έτσι και τα λογισμικά GIS είχαν τεράστιο κόστος αγοράς. Με το πέρασμα των χρόνων το κόστος αυτό μειωνόταν, όμως, ακόμα και σήμερα ανέρχεται σε πολλές χιλιάδες ευρώ. Έτσι αναπτύχθηκαν προγράμματα ανοικτού κώδικα. Με αυτό τον τρόπο το κόστος χρήσης ενός λογισμικού GIS μπορεί να μηδενιστεί, ενώ υπάρχει συνεχής εξέλιξη και αναβάθμιση μέσω της κοινότητας χρηστών και προγραμματιστών του εκάστοτε ανοικτού λογισμικού. Εκτός όμως της δυνατότητας για ευρεία δωρεάν χρήση αυτών των συστημάτων, λόγω του ανοικτού κώδικα, δίνεται η δυνατότητα για την εξέλιξη των δυνατοτήτων ενός προγράμματος, καθώς και για την δημιουργία νέων εργαλείων μέσω των ανοικτών βιβλιοθηκών προγραμματισμού που διανέμονται δωρεάν μαζί με τα λογισμικά ανοικτού κώδικα.

Η πρώτη προσπάθεια για δημιουργία ενός ανοικτού λογισμικού GIS έγινε το 1978 με το MOSS (Map Overlay and Statistical System). Στην συνέχεια, το 1982 αναπτύχθηκε ένα ανοικτό λογισμικό από τον αμερικανικό στρατό, το οποίο εξελίσσεται ακόμα και σήμερα και οι δυνατότητές του είναι τεράστιες. Το λογισμικό ονομάζεται GRASS GIS (Geographical Resources Analysis Support System). Μέχρι σήμερα, έχουν αναπτυχθεί πάνω από 30 λογισμικά και βιβλιοθήκες ανοικτού κώδικα και πολλές μελέτες (Lei et al., 2011; Chen et al., 2010; Radinger et al., 2014; Neteler et al., 2012; Minelli et al., 2014) αποδεικνύουν ότι η χρήση ανοικτού κώδικα είναι ένας τρόπος για οικονομική δημιουργία και χρήση λογισμικών GIS για διάφορες εργασίες όπως η διαχείριση των υδάτων, η χρήση γης, η ανάλυση δεδομένων, η

χαρτογράφηση καθώς επίσης και η δημιουργία εργαλείων που δεν υπάρχουν σε εμπορικά προϊόντα, για εξειδικευμένες εργασίες.

Όμως εκτός από τα πλεονεκτήματα που έχει η χρήση του ανοικτού κώδικα, υπάρχουν και μειονεκτήματα. Επειδή η δομή των ανοικτών λογισμικών βασίζεται στους χρήστες, δεν υπάρχει εξειδικευμένη ομάδα υποστήριξης. Έτσι κάθε πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί πρέπει να επιλυθεί από τον εκάστοτε χρήστη ή με βοήθεια της κοινότητας χρηστών. Άλλο πρόβλημα είναι ότι η χρήση τους απαιτεί άριστη γνώση προγραμματισμού από τον χρήστη ακόμα και για τις πιο απλές εργασίες (όπως η εκκίνηση των προγραμμάτων μέσα από λογισμικά προγραμματισμού). Επίσης πριν την ενασχόληση με ένα λογισμικό ανοικτού κώδικα πρέπει να γίνει εκμάθηση των εντολών καθώς και των τρόπων χρήσης αυτών (αν υπάρχουν έγγραφα για αυτό τον σκοπό), μια διαδικασία χρονοβόρα που πολλές φορές μπορεί να καταλήξει σε μη κατανόηση άρα και σε αδυναμία χρήσης των λογισμικών.

2.4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Για τη δειγματοληψία του εδάφους έχουν υιοθετηθεί τρεις τρόποι.

1. Τυχαία δειγματοληψία.
2. Στοχευμένη δειγματοληψία.
3. Δειγματοληψία πλέγματος (grid sampling)

Ο πρώτος τρόπος γίνεται εντελώς τυχαία. Ο δεύτερος τρόπος αφορά την δειγματοληψία εδάφους με βάση τον τύπο του εδάφους ή άλλο χαρακτηριστικό. Για να γίνει αυτού του είδους η δειγματοληψία θα πρέπει να βασιστούμε σε εδαφολογικούς χάρτες ή σε διάφορες ζώνες διαχείρισης που προήλθαν από μετρήσεις διαφόρων εδαφικών ή άλλων χαρακτηριστικών όπως χάρτες παραγωγής ή δεδομένα τηλεπισκόπησης. Στην συνέχεια θα πρέπει να γίνει λήψη πολλών δειγμάτων από κάθε περιοχή με όμοια χαρακτηριστικά και κατόπιν αυτά να αναμειχθούν μεταξύ τους. Ο τρίτος

τρόπος είναι ή δειγματοληψία πλέγματος, στην οποία το κάθε αγρόκτημα χωρίζεται σε κελιά. Το μέγεθος των κελιών πρέπει να είναι το ίδιο σε όλη την επιφάνεια και η δειγματοληψία να γίνεται ξεχωριστά για κάθε κελί.

Στην τυχαία δειγματοληψία τα δείγματα που συλλέγονται είναι λίγα και δεν επαρκούν για να περιγραφεί με ακρίβεια η παραλλακτικότητα των εδαφικών χαρακτηριστικών. Στην δειγματοληψία πλέγματος, αν και απεικονίζεται πιστά η παραλλακτικότητα, το μέγεθος των δειγμάτων μπορεί να είναι υπερβολικά μεγάλο, αν το μέγεθος των κελιών είναι μικρό, με αποτέλεσμα το κόστος της δειγματοληψίας και των αναλύσεων να είναι πολύ υψηλό και ασύμφορο. Η μέθοδος της στοχευμένης δειγματοληψίας είναι αυτή που χρησιμοποιείται περισσότερο γιατί περιγράφει ικανοποιητικά την παραλλακτικότητα ενώ το πλήθος των δειγμάτων παραμένει σε λογικά πλαίσια (Λιάκος, 2013).

2.5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στο επάγγελμα του γεωργού, όπως και σε κάθε άλλο επάγγελμα αυτό που έχει σημασία είναι το τελικό αποτέλεσμα. Το οικονομικό κέρδος ή η ζημιά ενός παραγωγού εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της παραγωγής. Οι παραγωγοί προσπαθούν να αυξήσουν την ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος και ταυτόχρονα να μειώσουν το κόστος. Με τη χαρτογράφηση παραγωγής γίνεται ταυτόχρονη καταγραφή της παραγωγής και της θέσης σε πολλά σημεία του αγρού, έτσι ώστε να διερευνηθεί ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την παραγωγή. Οι χάρτες παραγωγής μπορούν να συνδυαστούν με εδαφολογικούς χάρτες και άλλα δεδομένα (μετεωρολογικά, τηλεπισκόπισης κ.α.) έτσι ώστε να αρχίσει η διαδικασία ανάπτυξης ενός συστήματος Γεωργίας Ακριβείας.

Η χαρτογράφηση παραγωγής είναι μια από τις πρώτες εργασίες που πρέπει να κάνει ένας παραγωγός που ενδιαφέρεται να εφαρμόσει ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας. Αν η παραγωγή σε έναν αγρό δεν διαφέρει χωρικά και το επίπεδό της είναι ικανοποιητικό δεν υπάρχει κίνητρο να

επενδύσει σε τεχνολογία Γεωργίας Ακριβείας. Αντίθετα αν υπάρχει σημαντική χωρική παραλλακτικότητα στην παραγωγή σε έναν αγρό, η εφαρμογή της Γεωργίας Ακριβείας θα του πρόσφερε σημαντική δυνατότητα βελτίωσης.

2.5.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Τα συστήματα χαρτογράφησης παραγωγής επιτρέπουν την ανάδειξη και την καταγραφή, ακριβώς της ποσότητας του προϊόντος που αναφέρεται στις γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου από το οποίο αυτό συλλέγεται.

Τα πιο κοινά συστήματα καταγραφής της παραγωγής σε θεριζοαλωνιστικές αποτελούνται από τα παρακάτω μέρη (Morgan and Ess, 1997):

- Αισθητήρες μέτρησης παραγωγής. Οι αισθητήρες μέτρησης παραγωγής τοποθετούνται σε ένα σημείο της μηχανής συγκομιδής που περνά ο καθαρός σπόρος. Μερικά από τα είδη των αισθητήρων αυτών είναι: 1) Αισθητήρες μέτρησης πίεσης 2) Αισθητήρες μέτρησης μετατόπισης 3) Ραδιομετρικό σύστημα 4) Σύστημα με δυναμοκυψέλες 5) Σύστημα μέτρησης όγκου.
- Αισθητήρες μέτρησης υγρασίας σπόρου. Ο αισθητήρας μέτρησης υγρασίας του σπόρου συνήθως τοποθετείται στο σύστημα καθαρισμού του σπόρου κοντά στους αισθητήρες μέτρησης παραγωγής. Συνήθως χρησιμοποιούνται αισθητήρες με πυκνωτές για την μέτρηση της υγρασίας του σπόρου.
- Αισθητήρες μέτρησης ταχύτητας της μηχανής συγκομιδής. Οι αισθητήρες αυτοί εγκαθίστανται στους τροχούς της μηχανής συγκομιδής και μετράν την ταχύτητά της.
- Αισθητήρες μέτρησης του πραγματικού πλάτους εργασίας της μηχανής.
- Αισθητήρας θέσης μηχανισμού θερισμού μηχανής συγκομιδής. Ο αισθητήρας αυτός ελέγχει τη ροή και αποθήκευση των δεδομένων. Όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει ότι ο μηχανισμός θερισμού είναι ανυψωμένος δεν γίνεται καταγραφή δεδομένων και επομένως

υπολογισμός της έκτασης ακόμη και όταν η μηχανή συγκομιδής κινείται και όλα τα συστήματα της είναι σε λειτουργία. Όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει ότι ο μηχανισμός θερισμού είναι στο έδαφος γίνεται υπολογισμός της έκτασης που συγκομίζεται.

- Κεντρική μονάδα με οθόνη. Η κεντρική μονάδα είναι το βασικό στοιχείο του συστήματος. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος συλλέγει και αποθηκεύει τα δεδομένα από τους αισθητήρες και ταυτόχρονα τα δείχνει στην οθόνη. Τοποθετείται στην καμπίνα της μηχανής συγκομιδής να είναι εύκολα ορατή από τον χειριστή. Επίσης ο χειριστής μπορεί να εισάγει πληροφορίες στο σύστημα που αφορούν το όνομα του αγρού, τον αριθμό του φορτίου και το πλάτος κοπής. Οι πληροφορίες που έρχονται από τους αισθητήρες και φαίνονται στην οθόνη αφορούν την υγρασία του σπόρου, τη στιγμιαία παραγωγή, τη μέση παραγωγή, την έκταση που συγκομίστηκε, την ταχύτητα της μηχανής και την ποιότητα του σήματος του GPS.
- Δέκτη GPS με κεραία που δίνει στο σύστημα τη θέση της μηχανής συγκομιδής στον αγρό.

2.6. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Στο παρελθόν, όταν οι τιμές των λιπασμάτων ήταν χαμηλότερες, ήταν πιο απλό να εφαρμοστεί η λίπανση ομοιόμορφα στον αγρό και η δόση υπολογιζόταν με βάση τον μέσο όρο των εδαφικών ιδιοτήτων. Σήμερα, που οι τιμές έχουν εκτοξευθεί και το εισόδημα έχει μειωθεί υπερβολικά, ένα πρόβλημα που δυσκολεύει τους παραγωγούς είναι η ύπαρξη παραλλακτικότητας στις εδαφικές ιδιότητες των αγροτεμαχίων. Τα φυτά «εξαρτώνται» από το έδαφος το οποίο τους παρέχει θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξή τους. Το αποτέλεσμα αυτής της «εξάρτησης» είναι ότι, η παραλλακτικότητα του εδάφους μεταφέρεται στην εκάστοτε καλλιέργεια. Η ανάπτυξη του GPS και των ηλεκτρονικών συστημάτων όμως, έδωσε την δυνατότητα να δημιουργηθούν νέοι, πιο αποτελεσματικοί τρόποι

δειγματοληψίας και χαρτογράφησης. Έτσι ο προσδιορισμός της παραλλακτικότητας γίνεται ευκολότερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια.

2.6.1. ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Τα θρεπτικά στοιχεία που χρειάζονται τα φυτά για την ανάπτυξή τους χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (Μήτσιος, 2004):

1. Τα κύρια στοιχεία: Άζωτο (N), φώσφορος (P), κάλιο (K).
2. Τα δευτερεύοντα: ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), θείο (S).
3. Τα ιχνοστοιχεία: Βόριο (B), χλώριο (Cl), Χαλκός (Cu), σίδηρος (Fe), μαγγάνιο (Mn), ψευδάργυρος (Zn), μολυβδαίνιο (Mo).

Το άζωτο είναι για τα περισσότερα φυτά ίσως το πιο σημαντικό στοιχείο για την παραγωγή. Ο φώσφορος είναι βασικό στοιχείο για την ανάπτυξη των αναπαραγωγικών μερών του φυτού. Ο φώσφορος σε αντίθεση με το άζωτο συγκρατείται ισχυρά στο έδαφος και δεν έχει απώλειες, ενώ βρίσκεται σε σχετικά μεγάλες ποσότητες στους σπόρους και τους καρπούς (Στυλιανίδης κ.ά., 2002). Το κάλιο παίζει σημαντικό ρόλο στην μετακίνηση των διαφόρων ουσιών μέσα στο φυτό. Επίσης σχετίζεται με την ενεργοποίηση ενζύμων που εμπλέκονται σε σημαντικές διεργασίες ανάπτυξης των φυτών. Επιπλέον επηρεάζει την ικανότητα των φυτών να αντέχουν στην έλλειψη υγρασίας (Στυλιανίδης κ.ά., 2002). Από τη συνολική ποσότητα καλίου στο έδαφος μόνο το 1-10% είναι διαθέσιμο για τα φυτά (Μήτσιος, 2004).

Από τα δευτερεύοντα στοιχεία το ασβέστιο διεγείρει την ανάπτυξη της ρίζας, του στελέχους και των φύλλων και βελτιώνει την αντίσταση των φυτών στις ασθένειες. Το μαγνήσιο είναι απαραίτητο για την παραγωγή της χλωροφύλλης και βοηθά στην παραγωγή πολλών συστατικών των φυτών όπως σάκχαρα, άμυλο και λίπη. Το θείο βρίσκεται στο πρωτόπλασμα των κυττάρων και συμμετέχει στη σύνθεση των πρωτεϊνών και ενισχύει την ικανότητα των φυτών να αντέχουν στις χαμηλές θερμοκρασίες (Στυλιανίδης κ.ά., 2002). Τα ιχνοστοιχεία χρειάζονται στα φυτά σε πολύ μικρές ποσότητες και για το λόγο αυτό σπάνια παρουσιάζονται ελλείψεις ιχνοστοιχείων. Παρόλα

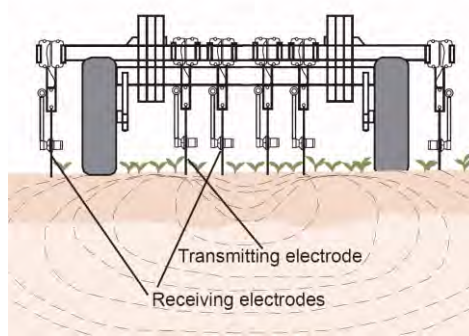
αυτά σε μερικά εδάφη παρουσιάζονται ελλείψεις και μερικά είδη φυτών είναι ευαίσθητα στις ελλείψεις κάποιων ιχνοστοιχείων. Για το λόγο αυτό πρέπει να γίνεται ανάλυση του εδάφους και για ιχνοστοιχεία.

2.6.2. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΦΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (Electric conductivity (EC)) ορίζεται ως η ικανότητα ενός διαλύματος να επιτρέπει στο ηλεκτρικό ρεύμα να περνά μέσα από την μάζα του. Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ορίζεται ως η ικανότητα του εδάφους, εντός του αγρού, να επιτρέπει στο ηλεκτρικό ρεύμα να περνά μέσα από την μάζα του. Η μέτρησή της μπορεί να δώσει πληροφορίες για την υφή του εδάφους καθώς συσχετίζεται θετικά με την περιεκτικότητα του σε άργιλο και σε οργανική ουσία (Moore and Walcott, 2001) όπως επίσης και με την αλατότητα και την οξύτητα του (Corwin et al., 2003). Εκτός όμως από την συσχέτιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τις εδαφικές ιδιότητες έχει παρατηρηθεί ότι το άζωτο μεταβάλλεται δυναμικά σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα (Λιάκος, 2013), έτσι μια εφαρμογή μεταβλητής αζωτούχου λίπανσης με βάση τους χάρτες της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας θα μπορούσε να μειώσει την χρήση λιπασμάτων (Aimrun et al., 2011) και κατά συνέπεια να αυξηθεί το κέρδος του αγρότη.

Η μέτρηση και χαρτογράφηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας γίνεται με δύο μεθόδους: 1) Με επαφή, 2) Με ηλεκτρομαγνητική επαγωγή.

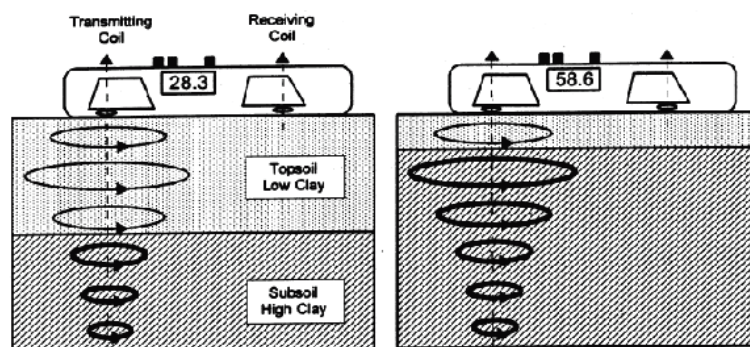
Για την μέτρηση της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με επαφή χρησιμοποιούνται 2 με 3 ζεύγη δίσκων οι οποίοι λειτουργούν σαν ηλεκτρόδια και είναι προσαρτημένοι σε ένα πλαίσιο που έλκεται από τον ελκυστήρα και κάνουν επαφή με το έδαφος. Ένα ζευγάρι αυτών διοχετεύει ηλεκτρικό ρεύμα στο έδαφος, ενώ ένα άλλο ζευγάρι που λαμβάνει το ρεύμα και μετράει την πτώση της τάσης από την αντίσταση του εδάφους (Grisso et al., 2009).



Εικόνα 14: Αρχή λειτουργίας των αισθητήρων EC με επαφή.

Το βάθος και το πλάτος των μετρήσεων αυξάνεται ανάλογα με την απόσταση των δίσκων.

Η μέτρηση με επαγωγή βασίζεται στην αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (electromagnetic induction (EMI)). Εδώ δεν υπάρχει άμεση επαφή του μηχανήματος με το έδαφος. Το μηχανήμα αυτό αποτελείται από έναν πομπό και ένα δέκτη που συνήθως είναι εγκατεστημένοι στα αντίθετα άκρα της μονάδας. Ο πομπός παράγει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και ο δέκτης απορροφά το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που προκύπτει από το έδαφος. Η δύναμη αυτού του δευτερεύοντος πεδίου είναι ανάλογη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους.



Εικόνα 15: Αρχή λειτουργίας της μεθόδου μέτρησης της EC με επαγωγή.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι (Corwin and Lesch, 2005): 1) Η αλατότητα του εδάφους, 2) Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, 3) Το φαινόμενο ειδικό βάρος, 4) Η περιεκτικότητα σε άργιλο, 5) Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, 6) Η θερμοκρασία.

2.7. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η τηλεπισκόπηση είναι μια τεχνολογία η οποία ορίζεται ως η διαδικασία καταγραφής της ενέργειας που ανακλάται η εκπέμπεται από ένα αντικείμενο (Lillesand et al., 2004). Βοηθάει δηλαδή στην απόκτηση πληροφορίας ενός φαινομένου ή ενός αντικειμένου από απόσταση, χωρίς δηλαδή φυσική επαφή με το υπό μελέτη φαινόμενο ή αντικείμενο. Πρακτικά στην τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται καταγραφείς διαφόρων τεχνολογιών (δέκτες) μέσω των οποίων συλλέγεται και στην συνέχεια αναλύεται πληροφορία που αφορά αντικείμενα ή περιοχές (Αργιαλός κ. ά., 2010; Campbell, 2002).

Η μέθοδος αυτή προσφέρει πληθώρα πλεονεκτημάτων σε σχέση με άλλες μεθόδους, ορισμένες από αυτές είναι (Townshend, 1981; Abbas et al., 2013):

1. Επιτρέπει μεγάλη χωρική κάλυψη.
2. Επιτρέπει μέτρηση – παρατήρηση σε περιοχές που δεν είναι προσβάσιμες.
3. Επιτρέπει την μείωση του κόστους των μετρήσεων, ελαττώνοντας τον απαιτούμενο χρόνο για την εκτέλεση κάποιων παρατηρήσεων – μετρήσεων.
4. Δίνει την δυνατότητα συνεχών μετρήσεων με την οποία έχουμε την ευκαιρία να μελετήσουμε διάφορα χαρακτηριστικά και να τα συγκρίνουμε.

Τα χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να μετρηθούν με την βοήθεια της τηλεπισκόπησης είναι τα εξής (Ζαλίδης και Αλεξανδρίδης, 2012; Λιάκος, 2013):

1. Η θέση ενός αντικειμένου.
2. Το υψόμετρο.
3. Το χρώμα.
4. Η χλωροφύλλη.

5. Το ανάγλυφο του εδάφους.
6. Η υγρασία.
7. Η θερμοκρασία.
8. Η βιομάζα.

2.7.1. ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΓΕΩΡΓΙΑ

Η τεχνική της τηλεπισκόπησης έχει ήδη αποδείξει ότι σχετίζεται με διάφορες διαδικασίες καταγραφής και παρακολούθησης των φυτών όπως την καταγραφή της χλωροφύλλης ή της ανάγκης άρδευσης (Ζαλίδης και Αλεξανδρίδης, 2012). Διάφορες μελέτες και πειράματα έχουν δείξει ότι είναι απαραίτητη για την αντιμετώπιση διαφόρων γεωργικών ζητημάτων (Haboudane et al., 2002). Τέτοια ζητήματα είναι η ταξινόμηση και η χαρτογράφηση των καλλιεργειών, η πρόβλεψη της απόδοσης (Clevers, 1997; Rasmussen, 1994), η μελέτη του φαινομένου της καταπόνησης των φυτών, η παρακολούθηση της κατάστασης των φυτών, των ασθενειών και των ελλείψεων τους σε διάφορα θρεπτικά.

Τα τελευταία χρόνια και με την εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργήθηκε ένα αυξημένο ενδιαφέρον για την γεωργία ακριβείας και την ανάπτυξη ευφυών συστημάτων για την διαχείριση των αγροτικών πόρων. Σε αυτό το πλαίσιο η τηλεπισκόπηση θεωρείται ένα βασικό εργαλείο για την παροχή πολύτιμων πληροφοριών, όπου αυτές απουσιάζουν ή είναι ακατάλληλες για την επίτευξη βιώσιμων και αποδοτικών πρακτικών. Οι αγρότες ενδιαφέρονται για την μέτρηση και αξιολόγηση της κατάστασης του εδάφους και των καλλιεργειών σε συγκεκριμένες κρίσιμες στιγμές. Πρώτον, στα αρχικά στάδια της ανάπτυξης προκειμένου να παρέχουν επαρκείς ποσότητες λιπασμάτων για μια κανονική ανάπτυξη της καλλιέργειας, και δεύτερον, στα τελευταία στάδια της ανάπτυξης για την παρακολούθηση της υγείας και την πρόβλεψη της απόδοσης της καλλιέργειας. Για τον σκοπό αυτό, οι αισθητήρες τηλεπισκόπησης μπορούν να διαδραματίσουν ένα πολύτιμο ρόλο στην παροχή συγκεκριμένων πληροφοριών σε κρίσιμα χρονικά σημεία για την γεωργία ακριβείας, λόγω των

δυνατοτήτων τους για μέτρηση των βιοφυσικών δεικτών και την ανίχνευση της χωρικής παραλλακτικότητας τους.

Μπορεί η τηλεπισκόπηση να έχει πολλές εφαρμογές και συγχρόνως τα πλεονεκτήματά της να είναι πολλά σε σχέση με άλλες μεθόδους, όμως έχει και τα μειονεκτήματά της. Το κυριότερο από αυτά είναι η εξάρτηση της ποιότητας των δεδομένων μέτρησης από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η σκόνη και ο φωτισμός. Επίσης στα αρνητικά συγκαταλέγεται ότι για την επεξεργασία των δεδομένων απαιτείται καλή γνώση χρήσης Η/Υ και διαφόρων λογισμικών (Λιάκος, 2013).

2.7.2. ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Τα φυτά, στην ορατή περιοχή του φάσματος του φωτός, απορροφούν ακτινοβολία στην κόκκινη και μπλε ζώνη συχνοτήτων και ανακλούν στην πράσινη.

Στην κοντινή υπέρυθρη περιοχή του φάσματος του φωτός (Near InfraRed) τα φυτά που φωτοσυνθέτουν (είναι πράσινα) ανακλούν μεγάλες ποσότητες του φάσματος του ηλιακού φωτός. Αυτό το φάσμα το οποίο δεν μπορεί να διακρίνει το ανθρώπινο μάτι, μπορεί να μετρηθεί με την βοήθεια των κατάλληλων αισθητήρων. Η ποσότητα του φωτός που ανακλάται από ένα φυτό σε αυτό το φάσμα επηρεάζεται από την κυτταρική δομή των φύλων και από την περιεκτικότητα σε νερό. Η φασματοσκοπία του ορατού και υπέρυθρου φάσματος χρησιμοποιείται ως ένας εύκολος, γρήγορος, μη καταστροφικός και οικονομικός τρόπος για την παρατήρηση του επιπέδου στρες των φυτών από έλλειψη στοιχείων (νερό, άζωτο), ασθενειών και τραυματισμών (Rady et al., 2014; Usha and Singh, 2013).

Με βάση μετρήσεις των διαφόρων περιοχών του φάσματος του φωτός και με μαθηματικά μοντέλα μπορούμε να δημιουργήσουμε δείκτες ευρωστίας και ανάπτυξης. Οι δείκτες αυτοί ονομάζονται δείκτες βλάστησης και

συμβάλουν στην μέτρηση του ποσοστού φυτοκάλυψης, της πράσινης βιομάζας και της απορροφούμενης ακτινοβολίας.

Ο πιο γνωστός δείκτης βλάστησης είναι ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ο δείκτης υπολογίζεται με βάση την σχέση:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Όπου NIR να είναι η μέτρηση του κοντινού υπέρυθρου και R η μέτρηση του ορατού κόκκινου φάσματος του φωτός. Η τιμές του NDVI παίρνουν τιμές από -1 ως 1.

Σε έρευνα των Johansen και Tømmervik (2014) παρουσιάζεται γραμμική συσχέτιση του δείκτη με την φυτομάζα, ενώ η σχέση μεταξύ NDVI και βιομάζας είναι ισχυρή. Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουν και οι Da Silva et al. (2006) και επιπλέον εντοπίζουν θετική συσχέτιση με την περιεκτικότητα των φύλων σε άζωτο. Επίσης είναι δυνατή η χρήση του NDVI για την εκτίμηση της παραγωγής (Son et al., 2014; Ali et al., 2014) καθώς επίσης και για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών (Δαλέζιος κ.ά, 2001).

Εκτός των παραπάνω ο δείκτης NDVI έχει συσχετιστεί με το στρες των δέντρων το οποίο μπορεί να οφείλεται σε μείωση της διαθεσιμότητας νερού (Aguilar et al., 2012) είτε σε προσβολή από έντομα (Luedeling et al., 2009). Έρευνα των Garcia et al. (2013), καταλήγει ότι το NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εύρεση προσβεβλημένων δέντρων από την ασθένεια Huanglongbing.

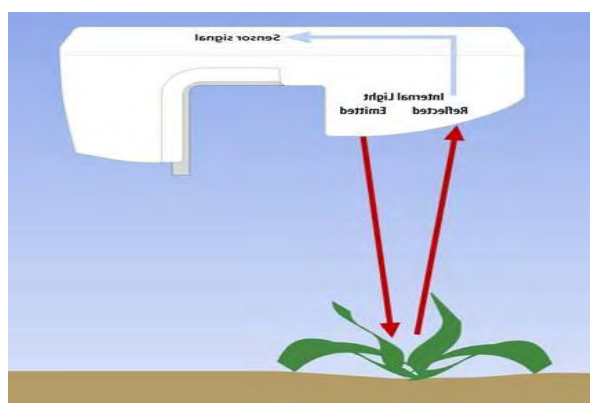
Άλλοι δείκτες βλάστησης είναι οι Excess Green Index (ExG) και Normalized Green Red Difference Index (NGRDI) οι οποίοι είναι δείκτες μέτρησης της περιεκτικότητας των φύλων σε χλωροφύλλη. Οι δείκτες αυτοί είναι βασισμένοι σε μετρήσεις μόνο στο ορατό φάσμα του φωτός χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το κοντινό υπέρυθρο.

2.7.3. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Οι δείκτες βλάστησης έχουν συσχετιστεί με την ευρωστία των φυτών, όμως η μέτρησή τους μπορεί να γίνει μόνο μέσω κατάλληλων μέσων. Διάφοροι αισθητήρες αναπτύχθηκαν για να μετρούν τα διάφορα φάσματα του φωτός και με τη βοήθεια δεικτών να μας δίνουν την δυνατότητα να επεμβαίνουμε στον αγρό.

Αισθητήρες όπως ο GreenSeeker και ο WeedSeeker έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την μέτρηση φασμάτων και με βάση του δείκτη NDVI βοηθούν στην εφαρμογή εισροών με ακρίβεια.

Ο GreenSeeker είναι αισθητήρας ο οποίος διασχίζοντας τον αγρό μετρά τον δείκτη NDVI και τον συσχετίζει με την απαίτηση της καλλιέργειας σε άζωτο. Έτσι μπορεί να γίνει εφαρμογή αζωτούχου λιπάσματος με μεγαλύτερη ακρίβεια λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες των φυτών και όχι τους μέσους όρους της παραγωγής.



Εικόνα 16: GreenSeeker.

Η λειτουργία του GreenSeeker είναι η εξής:

- Ο αισθητήρας χρησιμοποιώντας ένα LED σαρώνει την καλλιέργεια.
- Από το ανακλώμενο κόκκινο και κοντινό υπέρυθρο φάσμα εκτιμά τον δείκτη NDVI.
- Εκτιμά την υγεία της καλλιέργειας και το δυναμικό της παραγωγής.
- Καθορίζει την άριστη δόση αζώτου.

Ο αισθητήρας WeedSeeker είναι ένας αισθητήρας που μετρώντας τα ανακλώμενο φως από τα φυτά αναγνωρίζει και ψεκάζει συγχρόνως μόνο τα ζιζάνια και όχι το έδαφος καθώς διασχίζει τον αγρό. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη οικονομία στη χρήση ζιζανιοκτόνων.



Εικόνα 17: Ο αισθητήρας WeedSeeker.

Η λειτουργία του WeedSeeker είναι η εξής:

- Με τη βοήθεια ενός LED εκπέμπεται φως προς το έδαφος.
- Ο ανιχνευτής ανιχνεύει το ανακλώμενο φως.
- Αν έχει ανιχνευτεί πράσινο (δηλαδή φυτό), ενεργοποιείται ηλεκτρονικά η βαλβίδα και γίνεται ψεκασμός.
- Έτσι ψεκάζει μόνο φυτά και όχι έδαφος.

Άλλοι διαδεδομένοι αισθητήρες μέτρησης φασμάτων είναι ο SpectroSense και ο Crop Circle που λαμβάνουν το ανακλώμενο ηλιακό φως από μία επιφάνεια, σε διάφορα μήκη κύματος, και μετρούν το δείκτη NDVI.

Τα τελευταία χρόνια έχει εισχωρήσει στη γεωργία η τεχνολογία των μη επανδρωμένων ιπτάμενων οχημάτων (UAV). Με τη βοήθεια αυτών των οχημάτων μπορούμε να παίρνουμε διάφορες μετρήσεις που αφορούν τον αγρό. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη συνήθως είναι εφοδιασμένα με φωτογραφικές μηχανές οι οποίες μπορούν να λαμβάνουν φωτογραφίες είτε στο ορατό φάσμα είτε στο εγγύς υπέρυθρο. Στην συνέχεια οι φωτογραφίες αυτές περνούν από μια διαδικασία ανάλυσης μέσω υπολογιστή με την οποία μπορούμε να έχουμε ακριβή και γρήγορη μέτρηση των διαφόρων δεικτών βλάστησης του αγρού.



Εικόνα 18: Σύστημα UAV.

Παρά τα πλεονεκτήματα των αισθητήρων, υπάρχουν και μειονεκτήματα τα οποία μπορεί να οδηγήσουν σε εσφαλμένα συμπεράσματα για τον αγρό. Έρευνα των Kirp et al. (2014) καταλήγει στο ότι η απόδοση των αισθητήρων φασματικής μέτρησης εξαρτάται από την απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και της επιφάνειας μέτρησης. Επίσης σημαντικό ρόλο στην μέτρηση παίζει η μεταβολή της θερμοκρασίας του αισθητήρα. Τέλος η μέτρηση των φασμάτων μπορεί να επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες, όταν ο αισθητήρας δεν έχει δική του πηγή φωτός αλλά βασίζεται στο ηλιακό.



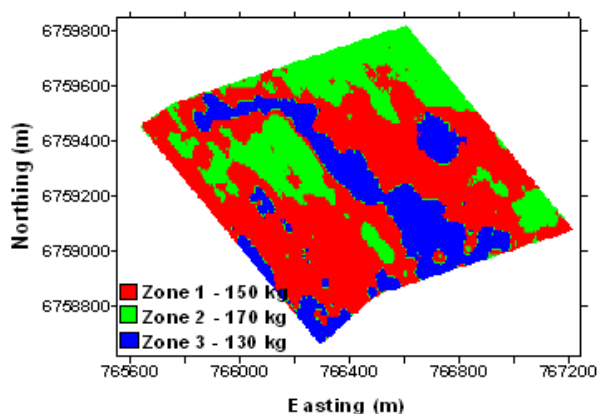
Εικόνα 19: PhenoField.

Το πανεπιστήμιο της Κοπεγχάγης έχει αναπτύξει έναν πρωτότυπο αισθητήρα με την ονομασία PhenoField. Ο αισθητήρας αυτός αποτελείται από ένα κουτί που στο εσωτερικό του εκπέμπεται ένα στροβοσκοπικό φως σε 9 διαφορετικά μήκη κύματος. Εκτός αυτού υπάρχει τοποθετημένη μία κάμερα, η οποία όταν το κουτί τοποθετείται πάνω από την καλλιέργεια και χαμηλώνει στην επιφάνεια του εδάφους, λαμβάνει μια σειρά από φωτογραφίες. Αυτές οι

φωτογραφίες στην συνέχεια επεξεργάζονται και αναλύονται για να οδηγήσουν σε διάφορα αποτελέσματα. Επειδή το σύστημα είναι εφαρμοσμένο στην επιφάνια μέτρησης υπάρχει πλήρης ανεξαρτησία των μετρήσεων από τις καιρικές συνθήκες και την αλλαγή στην ένταση του φωτός. Τέλος επειδή η κάμερα είναι σε σταθερό ύψος, μηδενίζεται το σφάλμα που μπορεί να προκύψει λόγω μη ηθελημένης αυξομείωσης της απόστασης μεταξύ αισθητήρα και περιοχής μέτρησης.

2.8. ΖΩΝΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Μετά την συλλογή δεδομένων με τους διάφορους αισθητήρες, το επόμενο βήμα είναι η διαμόρφωση στον αγρό, ζωνών, για την καλύτερη διαχείρισή του. Οι ζώνες αυτές ονομάζονται ζώνες διαχείρισης και είναι επιμέρους τμήματα του αγρού που έχουν κοινά χαρακτηριστικά και όπου η διαχείρισή τους μπορεί να είναι ενιαία (Kitchen et al., 2005).



Εικόνα 20: αγρός χωρισμένος σε 3 ζώνες διαχείρισης.

Τα βασικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να έχουν οι ζώνες διαχείρισης είναι τα εξής (Παπαοικονόμου, 2001):

- Σταθερότητα στον χρόνο.
- Ευκολία στην οριοθέτηση.
- Εύκολος προσδιορισμός.
- Δημιουργία οφέλους στον παραγωγό.

- Η συσχέτισή τους με χαρακτηριστικά που ενδιαφέρουν τον παραγωγό, όπως η παραγωγή και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας.
- Χαμηλό κόστος δημιουργίας.

Η δημιουργία των ζωνών διαχείρισης είναι πολύ σημαντική, γιατί με βάση αυτές θα εφαρμοστούν εισροές με ακρίβεια στον αγρό και για αυτό η ταξινόμηση των διάφορων χαρακτηριστικών πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Οι γνώσεις που απαιτούνται για την δημιουργία ζωνών είναι αγρονομικές, γνώσεις διαχείρισης και οικονομικών, γνώση του ιστορικού του αγρού, γνώση των δυνατοτήτων και των περιορισμών που προκύπτουν από τη χρήση του εξοπλισμού καθώς και γνώσεις πληροφορικής. Πληροφορίες όπως το πιθανό κέρδος του παραγωγού, οι φυσικές ιδιότητες του αγρού και η δυνατότητα διαχείρισης του από τον παραγωγό και θα πρέπει να εκτιμηθούν και να αξιολογηθούν για την ορθή δημιουργία των ζωνών.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι το πλήθος των ζωνών διαχείρισης που θα δημιουργηθούν. Ο αριθμός αυτός αυξάνεται αναλογικά με την παραλλακτικότητα του αγρού. Σημαντικός παράγοντας για το πλήθος και το μέγεθος των ζωνών διαχείρισης είναι επίσης το μέγεθος του αγρού και η δυνατότητα του παραγωγού να διαφοροποιεί τις εισροές. Η δυνατότητα μεγαλύτερης διαφοροποίησης των εισροών είναι εξαρτώμενη από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.

Για την δημιουργία των ζωνών διαχείρισης χρησιμοποιούνται, εκτός των δεικτών βλάστησης και άλλες πληροφορίες από διάφορες πηγές. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εικόνες από δορυφόρους ή αεροφωτογραφίες του αγρού με ή χωρίς βλάστηση, τοπογραφικούς χάρτες, εδαφικούς χάρτες ή χάρτες παραγωγής. Επιπλέον μπορούν να χρησιμοποιηθούν στοιχεία όπως δεδομένα εδαφολογικών αναλύσεων, ανωμαλίες στο ανάγλυφο του αγρού, περιοχές στράγγισης καθώς επίσης και προσβολές από έντομα ή από ασθένειες (Yao et al., 2014).

Άλλα στοιχεία τα οποία αφορούν το ιστορικό του αγροκτήματος πρέπει να συνυπολογιστούν. Τέτοια στοιχεία είναι θέσεις παλαιών κτισμάτων ή

δρόμων, η κάλυψη του αρδευτικού συστήματος και οι χάρτες με τις ζώνες διαχείρισης προηγούμενων ετών.

Οι ζώνες διαχείρισης χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ψηφιακών χαρτών του αγρού. Οι χάρτες αυτοί περιέχουν τις ζώνες, το είδος των εισροών και τις δόσεις που θα εφαρμοστούν. Ζώνες γονιμότητας του εδάφους χρησιμοποιούνται συνήθως για τη δημιουργία χαρτών μεταβλητής λίπανσης (Fleming et al., 2000). Η επιλογή θέσεων στον αγρό, για λήψη δειγμάτων εδάφους (McMillan et al., 1998) καθώς και η δημιουργία προτύπων ανάπτυξης των καλλιεργειών (Fraisie et al., 2001b) μπορεί να βασιστεί σε ζώνες διαχείρισης.

2.8.1. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ

Για την δημιουργία ενός χάρτη που θα μας βοηθήσει στην εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις, είναι απαραίτητο να ακολουθήσουμε μία σειρά από διαδικασίες. Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός των διάφορων ζωνών διαχείρισης.

Αφού συγκεντρωθούν πληροφορίες και δεδομένα, πρέπει να απαντηθούν μια σειρά από ερωτήματα όπως (Ortiz et al., 2011):

- Πως οι πληροφορίες και τα δεδομένα μας θα μετατραπούν σε ζώνες διαχείρισης.
- Πόσες ζώνες διαχείρισης θα δημιουργηθούν.
- Ποιες είναι οι εισροές στις οποίες θα γίνει διαφοροποίηση δόσεων.

Η επεξεργασία των δεδομένων για τον διαχωρισμό ζωνών διαχείρισης απαιτεί την χρήση λογισμικών (Ortiz et al., 2011; Λιάκος, 2013) όπως το FUZME, το MZA (Management Zone Analyst) και η εφαρμογή μέσω ιστοσελίδας ZONEmap. Ο διαχωρισμός των ζωνών βασίζονται στην στατιστική ανάλυση με την μέθοδο cluster analysis (Fraisie et al., 2001a; Λιάκος, 2013; Delalibera et al., 2012). Η μέθοδος αυτή ομαδοποιεί τα δεδομένα με βάση την ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των δειγμάτων

(Delalibera et al., 2005) δημιουργώντας κλάσεις, όπου η παραλλακτικότητα είναι ελάχιστη εντός της κλάσης και μέγιστη μεταξύ των διαφόρων κλάσεων.

Το πλήθος των ζωνών διαχείρισης μπορεί να επιλέγεται από το χρήστη ή μέσω διαφόρων δεικτών όπως οι FCM (Okeke and Karnieli, 2006), FPI και MPE (Λιάκος, 2013), όπου γίνεται χρήση μιας σειράς μετρήσεων και επιλέγεται ο αριθμός των ζωνών με τις οποίες οι δείκτες παίρνουν τις καλύτερες τιμές.

Το επόμενο βήμα είναι η δημιουργία των χαρτών εφαρμογής. Μετά τη δημιουργία των ζωνών διαχείρισης, εισάγονται σε λογισμικά GIS και ο χρήστης μπορεί να αποτυπώσει σε χάρτη την ποσότητα της κάθε εισροής, την οποία επιθυμεί να χρησιμοποιήσει σε κάθε ζώνη διαχείρισης ανάλογα με τις πραγματικές ανάγκες των φυτών. Οι συνιστώμενες δόσεις βασίζονται σε διάφορες τιμές μετρήσεων οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις ανάγκες των φυτών. Για τη δημιουργία χαρτών μεταβλητής λίπανσης μπορεί να γίνει χρήση των τιμών γονιμότητας του εδάφους. Αυτό μπορεί να γίνει με δειγματοληψία ή με χρήση αεροφωτογραφιών για την αξιολόγηση των ιδιοτήτων του εδάφους. Με βάση τις τιμές αυτές μπορούν να δημιουργηθούν ζώνες διαχείρισης και χάρτες μεταβλητής λίπανσης σε καλλιέργειες σιτηρών (Fleming et al., 2000). Στο πρόγραμμα HYDROSENSE αναφέρεται πως προκειμένου να παρακολουθηθούν οι ανάγκες των φυτών για λίπανση και να ληφθούν σχετικές αποφάσεις εφαρμογής λιπάσματος έγινε χρήση των δεικτών που σχετίζονται με τη χλωροφύλλη, ενώ σε οπωρώνες έχει αναφερθεί ως βάση για την εκτίμηση των δόσεων η παραγωγή τις προηγούμενης χρονιάς που συνεπάγεται την απομάκρυνση στοιχείων μέσω των καρπών (Vatsanidou et al., 2014; Λιάκος, 2013).

Μετά την αποτύπωση των ζωνών και των αντίστοιχων δόσεων των εισροών, ζώνες με τις ίδιες τιμές χρωματίζονται για να ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες. Το αποτέλεσμα είναι ο χάρτης μεταβλητών δόσεων (prescription map) που θα χρησιμοποιηθεί για την εφαρμογή των εισροών στον αγρό. Ο χάρτης αυτός συνήθως είναι ένα αρχείο το οποίο μπορεί να «διαβαστεί» από τους ελεγκτές μεταβλητής λίπανσης.

2.9. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΙΣΡΟΩΝ ΜΕ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΔΟΣΕΙΣ (VRA)

Μετά τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης περνάμε στο στάδιο της εφαρμογής των εισροών ανάλογα με τις ανάγκες της εκάστοτε ζώνης. Τα συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις (Variable Rate Application Systems) είναι συστήματα τα οποία μεταβάλουν την ποσότητα των εισροών, ανάλογα με το σημείο του αγρού στο οποίο βρίσκονται.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις, η εφαρμογή με χρήση χαρτών (map-based VRA) και η εφαρμογή με χρήση αισθητήρων (sensor-based VRA).

Η εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις, βασισμένη σε χάρτες, προσαρμόζει τη δόση της εισροής με βάση την πληροφορία που είναι καταχωρημένη στον χάρτη. Αυτά τα συστήματα πρέπει να έχουν την δυνατότητα να καθορίζουν κάθε στιγμή τη θέση στον αγρό, της μηχανής η οποία θα εφαρμόσει τις εισροές. Επίσης επιβάλλεται η σύνδεση του συστήματος μεταβολής της δόσης με υπολογιστή για την λήψη των πληροφοριών από τον ψηφιακό χάρτη του αγροκτήματος.

Η εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις, βασισμένη σε χρήση αισθητήρων είναι βασισμένη σε αισθητήρες που δουλεύουν σε πραγματικό χρόνο. Οι αισθητήρες παίρνουν μετρήσεις καθώς μετακινούμαστε μέσα στον αγρό. Στην συνέχεια το σύστημα ελέγχου χρησιμοποιεί τις μετρήσεις και προσαρμόζει τις εισροές με βάση τις ανάγκες της καλλιέργειας. Αυτή η μέθοδος δεν κάνει απαραίτητη τη χρήση των συστημάτων GPS αλλά για τη δημιουργία χαρτών με βάση τις μετρήσεις των αισθητήρων η χρήση των συστημάτων GPS είναι απαραίτητη.

Τα συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις που βασίζονται σε αισθητήρες αποτελούνται από τρία βασικά μέρη :

- Τους αισθητήρες (sensors).

- Τους ελεγκτές (controllers).
- Τους ενεργοποιητές (actuators).

Οι αισθητήρες που έχουν αναπτυχθεί για εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις μετρούν τις παρακάτω ιδιότητες των φυτών και του εδάφους:

- Περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία.
- Περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό.
- Ανάκλαση φωτός από καλλιέργειες και ζιζάνια.
- Θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος.

Οι ελεγκτές είναι συσκευές που αλλάζουν το ρυθμό εφαρμογής των εισροών που εφαρμόζονται καθώς το μηχάνημα κινείται στον αγρό. Χρησιμοποιούν επεξεργαστές για να διαβάσουν τα δεδομένα που παίρνουν από τους αισθητήρες και να υπολογίσουν τη δόση εφαρμογής με βάση αποθηκευμένους αλγόριθμους σε πραγματικό χρόνο. Στη συνέχεια στέλνουν την πληροφορία στους ενεργοποιητές.

Οι ενεργοποιητές είναι συσκευές που αντιδρούν σε σήματα που λαμβάνουν από τους ελεγκτές για να ρυθμίσουν την ποσότητα της εισροής που εφαρμόζεται στον αγρό. Η αντίδραση του ενεργοποιητή μπορεί να προκαλεί κινήσεις αξόνων ή κινητήρων που στη συνέχεια μετατρέπονται σε άνοιγμα ή κλείσιμο μιας θύρας, ή να προκαλέσει αλλαγή ταχύτητας ροής κλπ. Οι ενεργοποιητές έχουν σχεδιαστεί να αντιδρούν σε ηλεκτρικά, πνευματικά ή υδραυλικά σήματα που προέρχονται από τους ελεγκτές. Ένας ενεργοποιητής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει τη θέση μιας βαλβίδας που ρυθμίζει το ρυθμό ροής ενός υγρού ή την πίεση του. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αλλάξει τη θέση μιας συρόμενης θυρίδας για να ρυθμίσει τη ροή ενός κοκκώδους υλικού σε μια ταινία μεταφοράς.

Στα συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις που βασίζονται σε χάρτες υπάρχει διαφορετική διαδικασία. Σε αυτά τα συστήματα η λήψη μετρήσεων και η επεξεργασία τους έχει γίνει πριν την έναρξη της εφαρμογής των εισροών. Με τις μετρήσεις αυτές δημιουργείται ένας χάρτης ο

οποίος περιέχει όλα τα στοιχεία για τις προκαθορισμένες ζώνες διαχείρισης του αγρού. Έτσι οι ελεγκτές αντικαθίστανται είτε από κονσόλες (συσκευές με επεξεργαστή, λογισμικό και οθόνη) είτε από υπολογιστές που ελέγχοντας τη θέση του συστήματος στον αγρό, διαβάζουν τις πληροφορίες από το χάρτη και αναλόγως δίνουν εντολή στους ενεργοποιητές να ρυθμίσουν την ποσότητα της δόσης εφαρμογής.



Εικόνα 21: κονσόλα στην καμπίνα του ελκυστήρα με οπτική αναπαράσταση της διαδικασίας εφαρμογής εισροών.

Τα συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις μπορούν να διακριθούν σε τρεις τύπους ανάλογα με το προϊόν που εφαρμόζεται:

- Σπόρος.
- Στερεά χημικά (κοκκώδη λιπάσματα, κοκκώδη εντομοκτόνα, ασβέστη).
- Υγρά χημικά (υγρά λιπάσματα, υγρά παρασιτοκτόνα).
- Αρδευτικό νερό.

Τα τελευταία χρόνια μελετώνται εφαρμογές για μεταβλητό βάθος κατεργασίας εδάφους, μεταβλητό βάθος σποράς κλπ.

2.10. ΛΙΠΑΝΣΗ

Τα θρεπτικά συστατικά που λαμβάνονται από τις ρίζες των φυτών, ως ιόντα, είναι τόσο απαραίτητα όσο το νερό, ο αέρας και το φως. Ορισμένα θρεπτικά όπως το κάλιο, το άζωτο και ο φώσφορος απαιτούνται σε μεγαλύτερες ποσότητες από άλλα, όπως το μαγνήσιο, το θείο ή το ασβέστιο. Όμως εκτός των παραπάνω, υπάρχουν και στοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα, αλλά σε πολύ μικρές ποσότητες (ιχνοστοιχεία). Τέτοια στοιχεία είναι ο σίδηρος, το μαγγάνιο, ο χαλκός, ο ψευδάργυρος, το μολυβδαίνιο κ.α.

Όλα τα θρεπτικά, είναι απαραίτητα για την επίτευξη μεγάλων αποδόσεων σε εντατικές εκμεταλλεύσεις. Όμως στις περισσότερες περιπτώσεις, οι συγκεντρώσεις στο έδαφος δεν είναι ικανές να καλύψουν τις ανάγκες της καλλιέργειας έτσι ώστε να φτάσει το μέγιστο τις παραγωγής. Το παραπάνω πρόβλημα αντιμετωπίζεται προσθέτοντας τα απαραίτητα θρεπτικά με εισροές λιπασμάτων. Σήμερα δε νοείται καλλιέργεια χωρίς λίπανση, οι δε ποσότητες των λιπασμάτων που είναι υψηλές, συχνά υψηλότερες των απαιτήσεων της καλλιέργειας.

Παλαιότερα το κόστος των λιπασμάτων δεν αποτελούσε σοβαρό πρόβλημα για το γεωργό, καθώς και η τιμή του ήταν μικρή και οι επιδοτήσεις μεγαλύτερες, έτσι το τεχνικό πρόβλημα της εφαρμογής του λιπάσματος έχριζε μεγαλύτερης προσοχής. Σήμερα το τεχνικό πρόβλημα έχει σχεδόν εξαλειφθεί λόγω της εξέλιξης της τεχνολογίας. Η αύξηση της τιμής των λιπασμάτων όμως, καθώς και η μείωση των επιδοτήσεων, έχει μετατρέψει σε μείζον πρόβλημα το τελικό κόστος της λίπανσης για τον γεωργό. Σε αυτό προσπαθεί να δώσει λύση η εφαρμογή διαφοροποιημένων ποσοτήτων ανά θέση, ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών, όπως αναλύεται στα θέματα της γεωργίας ακριβείας.

Τα λιπάσματα διακρίνονται σε: α) οργανικά (κόπρος, φυτικά υπολείμματα, κομπόστες) β) ανόργανα ή χημικά. Τα χημικά χρησιμοποιούνται σ' όλες τις καλλιέργειες και σε μεγάλες ποσότητες. Τα οργανικά λιπάσματα

προστίθενται όχι μόνο για τα λιπαντικά τους στοιχεία αλλά και για την οργανική ουσία.

Εκτός από τα κύρια λιπάσματα, μπορούν να προστεθούν και άλλα υλικά, κυρίως άσβεστος και μαγνήσιο, περισσότερο για ρύθμιση του pH του εδάφους. Η προσθήκη των λιπασμάτων στο χωράφι μπορεί να γίνει είτε σε όλη την επιφάνεια είτε σε γραμμές είτε εντοπισμένη σε σημεία του αγρού όπως στους οπωρώνες που μπορεί να διασκορπιστεί γύρω από τα δένδρα. Αναφέρονται πολλοί τρόποι όπως (Γαβριηλίδης, 1969, Srivastava et al., 1993):

- Με διασκόρπιση στην επιφάνεια του εδάφους πριν το όργωμα.
- Με διασκόρπιση στην επιφάνεια του εδάφους μετά το όργωμα και ανάμειξη με το έδαφος πριν τη σπορά.
- Με διασκόρπιση στην επιφάνεια του εδάφους σε φυτρωμένα χωράφια ή σε ανεπτυγμένα φυτά.
- Με τοποθέτηση κατά γραμμές σε ανεπτυγμένα φυτά.
- Με τοποθέτηση στο βάθος της αυλακιάς μετά το όργωμα.
- Με τοποθέτηση κατά γραμμές πριν, κατά ή μετά τη σπορά, σε αποστάσεις από τις γραμμές των φυτών και σε βάθος μεγαλύτερο της σποράς.
- Διασπορά σε κάθε δένδρο.
- Με ψεκασμό των φύλλων (διαφυλλική λίπανση).
- Με υδρολίπανση (ο πιο αποτελεσματικός τρόπος σε ποσότητα, χρόνο και χώρο διάθεσης των θρεπτικών).

2.10.1. ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΔΙΑΝΟΜΕΙΣ

Η διανομή των λιπασμάτων παλαιότερα αλλά και σήμερα σε πολύ μικρά αγροκτήματα (κυρίως σε οπωρώνες) γίνονταν με τα χέρια είτε «στα πεταχτά» σε όλο την επιφάνεια είτε εντοπισμένα. Σήμερα οι περισσότερες εφαρμογές γίνονται με κατάλληλα γεωργικά μηχανήματα και μάλλον κατ' εξαίρεση με τα χέρια. Για κάθε τρόπο τοποθέτησης λιπάσματος καθώς και για

κάθε είδος λιπάσματος, έχουν αναπτυχθεί εξειδικευμένα μηχανήματα, οι λιπασματοδιανομείς. Πολλά από αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, με τροποποιήσεις ή προσθήκες, για περισσότερους από έναν τρόπους τοποθέτησης (Τσατσαρέλης, 2006).

Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχουν οι λιπασματοδιανομείς για καλής ποιότητας λίπανση είναι (Τσατσαρέλης, 2006):

- Να ρυθμίζουν την ποσότητα του λιπάσματος που διασκορπίζεται.
- Να τη διασκορπίζουν ομοιόμορφα.
- Να ρυθμίζουν το πλάτος της λωρίδας του λιπάσματος, το βάθος και την απόσταση της γραμμής των φυτών από τη λωρίδα.
- Να είναι κατασκευασμένοι με υλικά που δεν καταστρέφονται εύκολα από τα διαβρωτικά λιπάσματα.
- Να είναι ελαφροί, εύχρηστοι (να γίνεται εύκολα η φόρτωση των λιπασμάτων, να ρυθμίζονται εύκολα) και να καθαρίζονται εύκολα.

Ο διασκορπισμός των λιπασμάτων μπορεί να γίνει σε μικρό πλάτος ή σε μεγάλο πλάτος. Οι λιπασματοδιανομείς που χρησιμοποιούνται για διασκόρπιση λιπασμάτων σε μεγάλο πλάτος είναι κατά κανόνα φυγοκεντρικοί ή πνευματικοί. Αυτοί μπορεί να έχουν:

- Έναν ή δύο περιστρεφόμενους δίσκους: Έχουν ένα δοχείο αποθήκευσης του λιπάσματος που συνήθως έχει μορφή κώνου (γι' αυτό και οι παραγωγοί το ονομάζουν χωνί). Το λίπασμα πέφτει από το δοχείο μέσω ρυθμιζόμενων ανοιγμάτων σε ένα ή δύο δίσκους που περιστρέφονται με μεγάλη ταχύτητα και εκτοξεύουν το λίπασμα (σε απόσταση 12-36m).
- Παλινδρομικώς κινούμενο στόμιο: το λίπασμα καταλήγει σε ένα βραχύ σωλήνα (στόμιο) που κινείται παλινδρομικά με την βοήθεια εκκέντρου. Το λίπασμα διασκορπίζεται με μορφή zig-zag, σε πλάτος 10-18m.
- Πνευματικούς λιπασματοδιανομείς που χρησιμοποιούν ρεύμα αέρα για τη διανομή του λιπάσματος: αποτελούνται από το δοχείο 2 πλευρικούς δοσοκατανομείς με ιμάντες που προκαλούν την έξοδο του λιπάσματος από το δοχείο αποθήκευσης σε ρυθμιζόμενες δόσεις. Έναν ανεμιστήρα

που παράγει ρεύμα αέρα που παραλαμβάνει τους κόκκους του λιπάσματος από τους ιμάντες με μια στένωση που δημιουργεί Bernoulli και μέσω σωληνώσεων τους οδηγεί στους διασκορπιστές (σημείο εξόδου). Το πλάτος διασκορπίσης δεν ξεπερνά τα 24m.

Τα μηχανήματα διασκορπισμού του λιπάσματος σε μικρό πλάτος μπορεί να διασκορπίζουν το λίπασμα σε όλη την επιφάνεια, σε γραμμές επιφανειακά ή σε γραμμές σε βάθος (μικρό ή μεγάλο).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι λιπασματοδιανομείς με τοποθέτηση του λιπάσματος σε γραμμές. Το λίπασμα μπορεί να τοποθετηθεί επιφανειακά ή ακόμη και σε βαθύτερα στρώματα. Στην περίπτωση της επιφανειακής τοποθέτησης λιπάσματος ο σωλήνας μεταφοράς του λιπάσματος τοποθετείται πίσω από ένα υνάκι που διεισδύει σε μικρό βάθος. Πίσω τους καταλήγει ο σωλήνας μεταφοράς του λιπάσματος. Τα μηχανήματα αυτών των τύπων χρησιμοποιούνται για φυτά γραμμικών καλλιεργειών (βαμβάκι, αραβόσιτος κλπ.) (Τσατσαρέλης, 2006).

Οι νεότεροι τύποι λιπασματοδιανομέων, κυρίως αυτών που ο μετρητικός μηχανισμός δεν παίρνει κίνηση μέσω τροχού εδάφους, φέρουν μηχανισμούς αυτορρύθμισης των ανοιγμάτων, ώστε η ποσότητα ανά στρέμμα να παραμένει κατά το δυνατό σταθερή, όταν μεταβάλλεται η ταχύτητα μετακίνησης ή του PTO. Μια άλλη προσέγγιση, που συνδέεται με την γεωργία ακριβείας, απαιτεί, ανάλογα με τις συνθήκες, μεταβαλλόμενη παροχή. Για την εφαρμογή χρησιμοποιούνται ειδικοί λιπασματοδιανομείς μεταβαλλόμενης δόσης (Fulton et al., 2001, 2003; Fiala et al., 1999; Yang et al., 2001).

2.10.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΗΣ ΔΟΣΗΣ ΛΙΠΑΣΜΑΤΟΣ

Η λίπανση με μεταβλητές δόσεις επιτυγχάνεται με διαφορετικό εξοπλισμό για τα διαφορετικά είδη λιπάσματος (υγρά ή στερεά λιπάσματα), όμως τα συστήματα - δέκτες GPS και οι ελεγκτές της καμπίνας είναι κοινά μέρη του εξοπλισμού σε όλα τα είδη λίπανσης με μεταβλητές δόσεις. Το σύστημα GPS είναι απαραίτητο για καταγράφεται συνεχώς η θέση του

εξοπλισμού επιτρέποντας στον Η/Υ της καμπίνας, να σηματοδοτεί αλλαγές, όσο ο εξοπλισμός μετακινείται από το ένα τμήμα του αγρού (ζώνη διαχείρισης) στο άλλο.

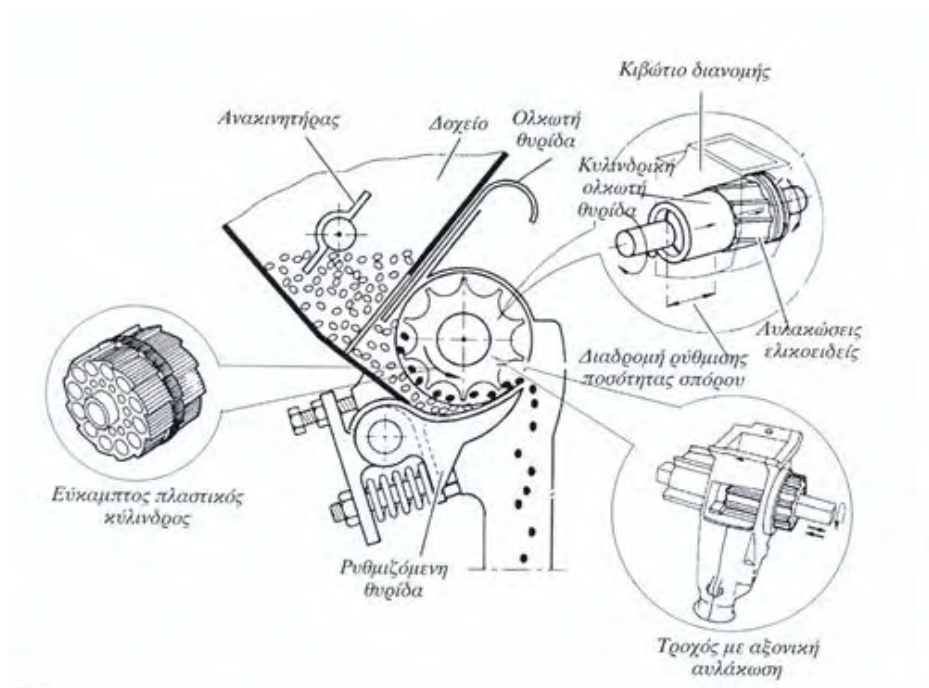
Ο δέκτης του GPS θα πρέπει να εγκατασταθεί με ακρίβεια στον λιπασματοδιανομέα για να λαμβάνεται η θέση του με την καλύτερη δυνατή ακρίβεια και έτσι να διασφαλιστεί ότι η ποσότητα του λιπάσματος που διανέμεται, αλλάζει ανάλογα την τοποθεσία εφαρμογής του όσο ο εξοπλισμός κινείται σε νέες ζώνες διαχείρισης. Σε περίπτωση που είναι αδύνατο να εγκαταστήσουμε τον δέκτη στον λιπασματοδιανομέα, θα πρέπει να διορθώσουμε το σφάλμα της θέσης, μέσω του εσωτερικού ελεγκτή της καμπίνας. Το δεύτερο βασικό εργαλείο στο σύστημα μεταβλητής λίπανσης είναι ο Η/Υ – ελεγκτής που τοποθετείται στο εσωτερικό της καμπίνας του οχήματος. Ο ελεγκτής πραγματοποιεί συγκεκριμένες λειτουργίες ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής της διαφοροποιημένης δόσης δηλαδή αν βασίζεται σε χάρτη που καθορίζει τις δόσεις με βάση συγκεντρωμένα στοιχεία είτε σε αισθητήρες που παίρνουν μετρήσεις κατά την κίνηση. Στην πρώτη περίπτωση (με χάρτες εφαρμογής) απαιτείται:

- Λειτουργία ενός λογισμικού στο οποίο «φορτώνεται» ο χάρτης με τις δόσεις εφαρμογής της λίπανσης στις ζώνες διαχείρισης.
- Καταγράφει το GPS σήμα που αναγνωρίζει στον χάρτη την θέση του οχήματος σε πραγματικό χρόνο.
- Επικοινωνεί με χρήση σημάτων με την "συσκευή ελέγχου ροής" που μεταβάλλει τη ροή του λιπάσματος.
- Παρακολουθεί την ταχύτητα του οχήματος.
- Καταγράφει στοιχεία του Χάρτη εφαρμογής λιπάσματος.

Στη περίπτωση των συστημάτων με αισθητήρες, κατά την κίνηση το σύστημα παίρνει το σήμα από τους αισθητήρες, το επεξεργάζεται και κάνει τις αντίστοιχες αλλαγές στο μετρητικό μηχανισμό του λιπασματοδιανομέα. Στη περίπτωση αυτή το GPS δεν είναι απαραίτητο αλλά είναι χρήσιμο για τη καταγραφή των ποσοτήτων λιπάσματος που εφαρμόστηκαν στο κάθε σημείο.

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για την διεξαγωγή του πειράματος χρησιμοποιήθηκε ένας πρωτότυπος λιπασματοδιανομέας για γραμμική λίπανση. Ο μετρητικός του μηχανισμός είναι ο ενδεδειγμένος για αυτού του είδους λιπασματοδιανομείς και είναι παραπλήσιος με τον μετρητικό μηχανισμό που χρησιμοποιείται σε σπαρτικές μηχανές σιτηρών.



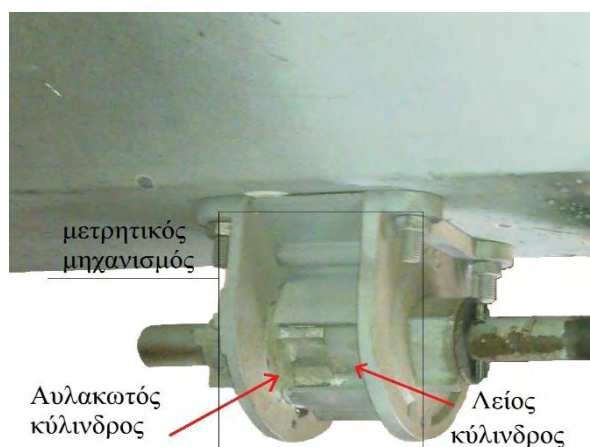
Εικόνα 22: Σχηματική αναπαράσταση μετρητικού μηχανισμού.

Ο μετρητικός μηχανισμός αποτελείται από έναν άξονα πολυγωνικής διατομής ο οποίος φέρει κυλίνδρους. Έναν αυλακωτό με αξονική αυλάκωση και ένα λείο που μπορούν να μετακινούνται και να αφήνουν μέσα στο κιβώτιο μεταβαλλόμενα μήκη αυλακώσεων. Ο αυλακωτός κύλινδρος περιστρέφεται μέσα στο κιβώτιο διανομής, το λίπασμα εισέρχεται στις αυλακώσεις και αναγκάζεται να βγει εκτός του κιβωτίου από όπου αφήνεται να πέσει στο έδαφος. Έτσι επιτυγχάνεται η έξοδος του λιπάσματος από το δοχείο αποθήκευσης και η διασπορά του στο έδαφος σε σειρές (Τσατσαρέλης, 2000).

Κατά την περιστροφή του ο κύλινδρος εγκλωβίζει μεταξύ των τοιχωμάτων και των αυλακώσεων ποσότητα λιπάσματος, αναγκάζει το

λίπασμα να εξέλθει από το κιβώτιο και το απελευθερώνει στους σωλήνες που το οδηγούν στο έδαφος. Η διανομή με τον τρόπο αυτό αναφέρεται και ως μερικώς εξαναγκασμένη γιατί εγκλωβίζει τους κόκκους και τους εξαναγκάζει να ακολουθήσουν τη συγκεκριμένη διαδρομή. Οι κόκκοι οδηγούνται συνήθως από το κάτω μέρος του κιβωτίου (Τσατσαρέλης, 2000).

Στον λιπασματοδιανομέα που χρησιμοποιήθηκε ήταν τοποθετημένος, ενωμένος με τον αυλακωτό κύλινδρο, ένας λείος κύλινδρος, ο οποίος δεν προκαλεί έξοδο του λιπάσματος και χρησιμεύει στην κάλυψη του ανοίγματος του μετρητικού μηχανισμού, όταν μετακινείται αξονικά και πλάγια (δεξιά ή αριστερά), για να επιτευχθεί αυξομείωση του μήκους των αυλακώσεων μέσα στο κιβώτιο και επομένως της δόσης του λιπάσματος (Εικόνα 23). Η ταχύτητα περιστροφής του μετρητικού μηχανισμού είναι ανάλογη με την ταχύτητα του ελκυστήρα γιατί η κίνησή του γίνεται μέσω τροχού εδάφους και έτσι η συνολική ποσότητα ανά στρέμμα παραμένει ανεξάρτητη από την ταχύτητα του γεωργικού ελκυστήρα.



Εικόνα 23: Μετρητικός μηχανισμός.

Η ρύθμιση της δόσης είναι σταθερή και επιτυγχάνεται με ρύθμιση της θέσης του αυλακωτού και λείου κυλίνδρου στο κιβώτιο. Η αλλαγή της ρύθμισης επιτυγχάνεται με μετακίνηση του αυλακωτού κυλίνδρου δεξιά ή αριστερά ώστε διαφορετικά μήκη αυλακώσεων να είναι ενεργά. Η μετακίνηση γίνεται από ένα χειροκίνητο μοχλό. Για να επιτύχουμε τη μεταβλητή ρύθμιση αυτόματα, δημιουργήσαμε ένα σύστημα με περιστρεφόμενο κοχλία, όπου η περιστροφή του επενεργεί στο μοχλό ρύθμισης επιτυγχάνοντας την

αυξομείωση του μήκους των αυλακώσεων του μετρητικού μηχανισμού και κατά συνέπεια την μεταβολή της δόσης της λίπανσης. Το σύστημα βαθμονομήθηκε από το ελάχιστο μέχρι το μέγιστο μήκος αυλακώσεων μέσα στο κιβώτιο και μετρήθηκε η δόση που επιτυγχάνεται με διάφορα λιπάσματα σύμφωνα με τις στροφές του κοχλία.

Ένας μετρητής έδειχνε τον αριθμό στροφών για την εκτίμηση του ανοίγματος του μετρητικού μηχανισμού με βάση τις περιστροφές του κοχλία και τη βαθμονόμηση της ρύθμισης του λιπασματοδιανομέα.



Εικόνα 24: Μετρητής ανάγνωσης του ανοίγματος του μετρητικού μηχανισμού (περιστροφές).

Σε προηγούμενο πείραμα, έγινε δοκιμή 9 διαφορετικών λιπασμάτων για να βαθμονομηθεί ο λιπασματοδιανομέας έτσι ώστε να γνωρίζουμε πόσο λίπασμα εξέρχεται από αυτόν σε διάφορες τιμές του ανοίγματος του μετρητικού μηχανισμού. Το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι μια γραμμική εξίσωση ($y=ax$) περιγράφει καλύτερα το φαινόμενο και μας δείχνει ότι το λίπασμα που εξέρχεται από το λιπασματοδιανομέα συνδέεται γραμμικά με το μήκος των αυλακώσεων του μετρητικού μηχανισμού. Έτσι μπορούμε να βαθμονομήσουμε το λιπασματοδιανομέα μας για χρήση με οποιοδήποτε άλλο κοκκώδες λίπασμα με ελάχιστες δοκιμές (τουλάχιστον 2).

Το επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία λογισμικού GIS για την προσαρμογή του ανοίγματος του λιπασματοδιανομέα καθώς μετακινούμαστε στον αγρό και στις διάφορες ζώνες διαχείρισης του. Το λογισμικό αυτό θα πρέπει να δέχεται ως εισερχόμενα στοιχεία (inputs) το χάρτη που έχει

δημιουργηθεί με βάση ιστορικά στοιχεία του αγρού με τις ζώνες διαχείρισης καθώς και τη θέση του λιπασματοδιανομέα στο χώρο μέσω ενός GPS.

Η εργασία που εκτελεί το λογισμικό είναι η συνεχής διασταύρωση των δύο παραπάνω στοιχείων για να καθοριστεί σε πραγματικό χρόνο η θέση του λιπασματοδιανομέα στις διάφορες ζώνες διαχείρισης καθώς αυτός κινείται εντός του αγρού. Στη συνέχεια, το λογισμικό κάνει ανάγνωση των πληροφοριών για την προκαθορισμένη ποσότητα λιπάσματος ή του προκαθορισμένου ανοίγματος του στομίου του μετρητικού μηχανισμού (σε στροφές) της εκάστοτε ζώνης. Αφού η προτεινόμενη ποσότητα αναγνωστεί συγκρίνεται με την ποσότητα που εξέρχεται εκείνη τη στιγμή και αναλόγως παράγεται ως έξοδος (output) μια εντολή να περιστραφεί ο κοχλίας για να αυξηθεί ή να μειωθεί το μήκος των αυλακώσεων έτσι ώστε να φτάσει στο απαιτούμενο ποσό λιπάσματος στο έδαφος της ζώνης διαχείρισης. Αυτή η διαδικασία ελέγχου γίνεται κάθε φορά που με βάση το GPS ανιχνεύεται ότι το σύστημα εισήλθε σε μία νέα ζώνη διαχείρισης έτσι ώστε να δοθεί εντολή να αλλάξει η ρύθμιση του μετρητικού μηχανισμού. Στο τέλος η εντολή που δίνεται από το λογισμικό μεταφέρεται μέσω της θύρας USB του υπολογιστή σε έναν ελεγκτή (controller) ο οποίος είναι συνδεδεμένος με έναν ηλεκτροκινητήρα πολλαπλών βημάτων (stepper motor). Ο ηλεκτροκινητήρας είναι συνδεδεμένος με τον άξονα του κοχλία μέσω αλυσίδας (Εικόνα 25). Με αυτό τον τρόπο, κατά την περιστροφή του, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα, αυξομειώνει το άνοιγμα του στομίου του μετρητικού μηχανισμού στο επιθυμητό, κάθε φορά, μέγεθος.



Εικόνα 25: Στο λιπασματοδιανομέα, ο κοχλίας για την μεταβολή του ανοίγματος του στομίου του μετρητικού μηχανισμού, αντικαταστάθηκε από γρανάτζι, το οποίο με την σειρά του ενώθηκε με το γρανάτζι του άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Κατά συνέπεια, ο ηλεκτροκινητήρας είναι υπεύθυνος για το άνοιγμα του στομίου.

Για τη δημιουργία του λογισμικού αυτού χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες προγραμματισμού ανοικτού κώδικα DotSpatial. Η εγγραφή του λογισμικού έγινε μέσω του πακέτου Visual studio 2012 (Microsoft) και η γλώσσα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Visual Basic .NET 2012. Το λογισμικό που δημιουργήθηκε ονομάστηκε **V.R.A. App** (Εικόνα 26).

Ο δέκτης του GPS που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Bluetooth GPS-4044 Data-logger της εταιρίας Blumax, ο ελεγκτής ήταν ο 1067_0 - PhidgetStepper Bipolar HC της εταιρίας Phidgets και ο ηλεκτροκινητήρας ήταν ο 3319_1 - NEMA-17 Bipolar 99.51:1 Planetary Gearbox Stepper επίσης της εταιρίας Phidgets. Επιπλέον, οι βιβλιοθήκες προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την επικοινωνία του λογισμικού με τον ελεγκτή και τον ηλεκτροκινητήρα ήταν οι βιβλιοθήκες που παρέχονται δωρεάν μέσω του ιστότοπου της εταιρίας Phidgets.

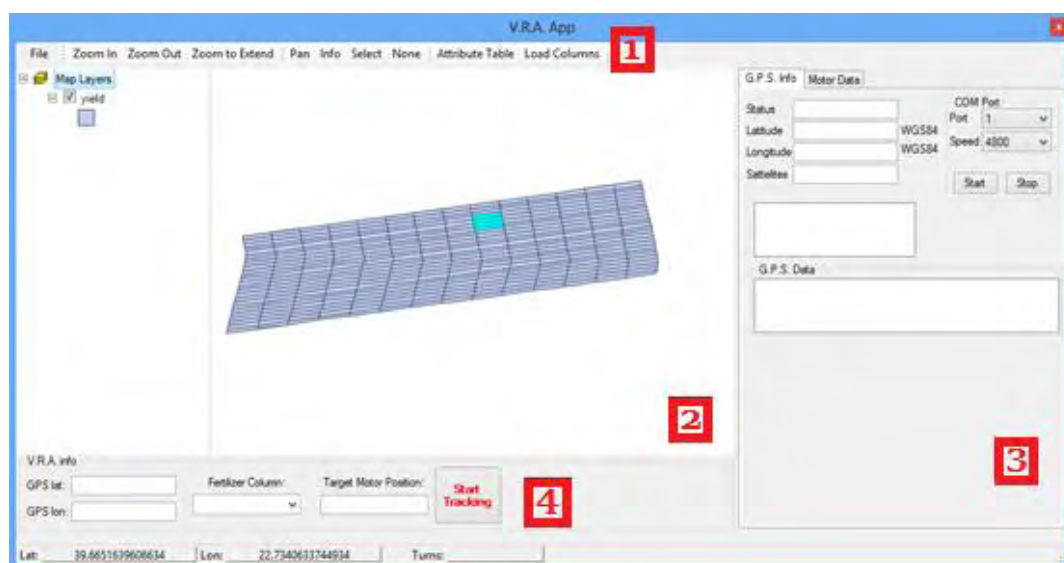
Το λογισμικό δεν έχει τη δυνατότητα δημιουργίας χαρτών και για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS της εταιρίας ESRI. Δημιουργήθηκαν 2 χάρτες, ο πρώτος για τη δοκιμή του συστήματος και τον έλεγχο επικοινωνίας των παρελκόμενων και ο δεύτερος για την εύρεση του σφάλματος του ηλεκτροκινητήρα. Οι χάρτες αυτοί αποτελούνται από θεωρητικές ζώνες διαχείρισης που δεν είναι βασισμένες σε πραγματικά

στοιχεία μετρήσεων μιας και η τοποθεσία την οποία απεικονίζουν δεν αντιστοιχεί σε αγρό, το πλήθος των διαφορετικών ζωνών είναι μεγάλο ώστε να ελεγχθεί η λειτουργία του συστήματος σε διαφορετικά σενάρια. Συγκεκριμένα οι χάρτες που δημιουργήθηκαν αποτελούσαν από 7 και 16 διαφορετικές ζώνες ενώ συνήθως σε πραγματικές συνθήκες έχουμε 3 ή 4.

Τέλος, έγινε δοκιμαστική λειτουργία του συστήματος μεταβλητής λίπανσης που δημιουργήθηκε για να διαπιστωθεί η επικοινωνία μεταξύ δέκτη GPS, κινητήρα και λογισμικού, καθώς και για να μετρηθεί το σφάλμα του κινητήρα και κατά πόσο επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος.

3.1. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ “V.R.A. App”

Ένα λογισμικό GIS, εκτός των λειτουργιών που δημιουργήθηκε για να εκτελεί, θα πρέπει να προσφέρει πληροφορίες κατανοητές στον χρήστη και να είναι ανεξάρτητο ως έναν βαθμό έτσι ώστε να μην χρειάζεται τη συνδρομή και άλλων λογισμικών. Το V.R.A. App δημιουργήθηκε για να δίνει εντολές μεταβολής του μετρητικού μηχανισμού με αποτέλεσμα την αυξομείωση της δόσης λίπανσης. Για να γίνει όμως προσιτό και εύχρηστο ενσωματώθηκαν λειτουργίες και επιλογές που βοηθούν την αλληλεπίδραση του χρήστη με τον χάρτη και τις ιδιότητές του.



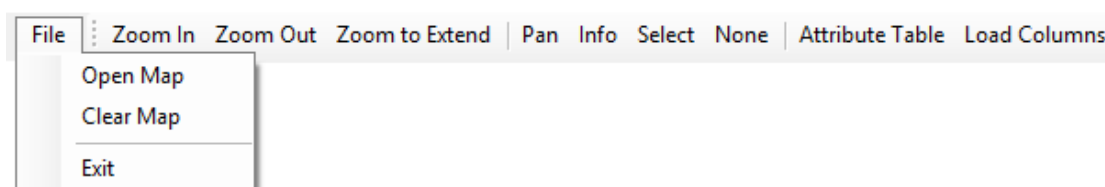
Εικόνα 26: V.R.A. App. Λογισμικό που δημιουργήθηκε στα πλαίσια της παρούσας διατριβής με αριθμημένα τα διάφορα μέρη του.

~ 50 ~

Στο κεντρικό παράθυρο επικοινωνίας του λογισμικού (Εικόνα 26) υπάρχει στην πάνω πλευρά του μία γραμμή εργαλείων που παρέχει μενού και κουμπιά επιλογών για την καλύτερη επικοινωνία του χρήστη με το λογισμικό (Εικ. 26, Αριθμός 1). Στο κέντρο βρίσκεται ο χάρτης με το υπόμνημά του (Εικ. 26, Αριθμός 2). Δεξιά οι δύο καρτέλες με επιλογές και πληροφορίες για το GPS και τον ηλεκτροκινητήρα (Εικ. 26, Αριθμός 3) και στο κάτω μέρος η περιοχή βασικών πληροφοριών και επιλογών (Εικ. 26, Αριθμός 4).

Επίσης μέσω επιλογής στη γραμμή εργαλείων αναδύεται ένα υπο-παράθυρο με πληροφορίες και επιλογές για τη διαχείριση των πληροφοριών του χάρτη (Εικόνα 28).

3.1.1. ΓΡΑΜΜΗ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ



Εικόνα 27: Η γραμμή εργαλείων του λογισμικού.

Στην Γραμμή εργαλείων υπάρχει ένα μενού επιλογών (File) για την εισαγωγή νέου χάρτη (Open Map), για την διαγραφή από το πρόγραμμα των χαρτών που έχουμε εισάγει (Clear Map) ή για τον τερματισμό του προγράμματος (Exit).

Το πρόγραμμα δέχεται αρχεία χαρτών με κατάληξη shp (shapefile). Αυτά είναι αρχεία ανυσματικά (vector type) και περιέχουν αντικείμενα γραμμικής, σημειακής ή πολυγωνικής μορφής. Επίσης, περιέχουν γεωχωρικές (geospatial) πληροφορίες για κάθε αντικείμενο του αρχείου.

Οι γεωχωρικές πληροφορίες των αρχείων shp κατανέμονται σε έναν πίνακα όπου η κάθε σειρά αντιπροσωπεύει ένα αντικείμενο και η κάθε στήλη ένα τύπο πληροφορίας για αυτό (π.χ. μια στήλη μπορεί να παρέχει έναν μοναδικό αριθμό ID ή το μήκος των γραμμικών αντικειμένων). Ο πίνακας

αυτός ονομάζεται πίνακας πληροφοριών (Attribute table) και είναι ενσωματωμένος στο αρχείο.

Ο τύπος αρχείου shp δημιουργήθηκε από την εταιρία ESRI και είναι ο τύπος των αρχείων που χρησιμοποιούνται από την πλειοψηφία των λογισμικών GIS για την δημιουργία και την επεξεργασία χαρτών. Εκτός των αρχείων shp μπορούμε να εισάγουμε και εικόνες (όλων των τύπων) ως υπόβαθρο για έναν χάρτη.

Εκτός του μενού File, στην γραμμή εργαλείων υπάρχουν κουμπιά για την αλληλεπίδραση του χρήστη με τον χάρτη. Μέσω αυτών των κουμπιών έχουμε επιλογές για μεγέθυνση ή σμίκρυνση (Zoom In, Zoom out) του χάρτη, για οπτική περιήγηση εντός του χάρτη (Pan) και για μεγέθυνση (ή σμίκρυνση) ώστε να εμφανίζεται όλη η έκταση του χάρτη εντός του παραθύρου εργασίας (Zoom to Extend).

Υπάρχουν επιπλέον επιλογές για τον χάρτη όπως το εργαλείο επιλογής των διάφορων ζωνών του (Select), το εργαλείο εμφάνισης των γεωχωρικών πληροφοριών των διάφορων ζωνών που έχουν επιλεγεί (Info) και εργαλείο με το πάτημα του οποίου έχουμε αποεπιλογή των επιλεγμένων ζωνών (None). Αυτές οι επιλογές παρέχονται σε περίπτωση που ο χάρτης αποτελείται από πολλές περιοχές και ο χρήστης θέλει να ενημερωθεί για τις πληροφορίες μόνο ορισμένων από αυτές.

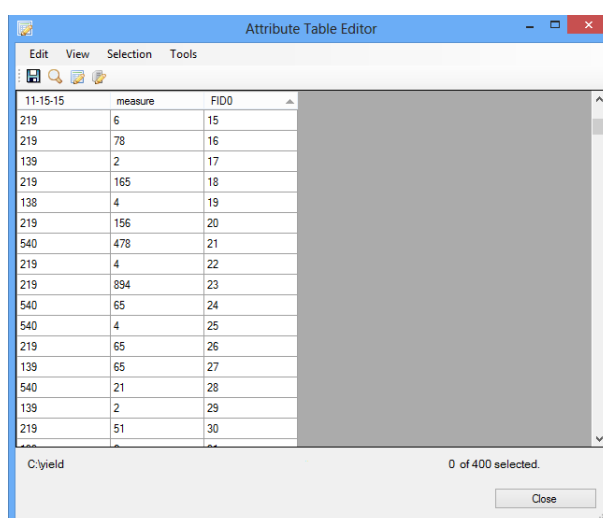
Τέλος υπάρχουν οι επιλογές Attribute Table και Load Columns για την αλληλεπίδραση του χρήστη με τον πίνακα πληροφοριών του χάρτη.

Με το πάτημα του κουμπιού Load Columns γίνεται ανάγνωση όλων των πληροφοριών του χάρτη και ο χρήστης επιλέγει ονομαστικά τη στήλη με τις πληροφορίες για την ποσότητα λιπάσματος της κάθε ζώνης. Αυτό είναι απαραίτητο και σημαντικό γιατί οι εντολές μεταβολής της λίπανσης που θα δίνει το λογισμικό στον ηλεκτροκινητήρα, θα είναι με βάση τις τιμές αυτής της στήλης για κάθε ζώνη.

Σε περίπτωση που ο χρήστης δεν ξέρει την ονομασία της παραπάνω στήλης ή δεν την έχει δημιουργήσει αλλά και σε περίπτωση που πρέπει να γίνει έλεγχος των πληροφοριών ενός χάρτη, προσθήκη πληροφοριών ή και διαγραφή αυτών, υπάρχει στην γραμμή εργαλείων η επιλογή Attribute Table.

Με το πάτημα αυτής της επιλογής αναδύεται ένα υπο-παράθυρο με όνομα Attribute Table Editor όπου παρέχονται στον χρήστη επιλογές που αφορούν τον πίνακα πληροφοριών του χάρτη.

3.1.1.1. ΥΠΟ-ΠΑΡΑΘΥΡΟ Attribute Table Editor



Εικόνα 28: Παράθυρο με επιλογές για τον πίνακα πληροφοριών.

Οι χάρτες τύπου shp είναι αρχεία τα οποία αποτελούνται από αντικείμενα ανυσματικού τύπου. Η θέση των αντικειμένων αυτών στο χώρο βασίζεται στις γεωγραφικές του συντεταγμένες (latitude, longitude). Εντός ενός λογισμικού GIS, ο χρήστης μετακινώντας τον κέρσορα πάνω σε ένα αντικείμενο, μπορεί να δει στην γραμμή κατάστασης του λογισμικού τις συντεταγμένες αυτές. Σε κάθε αντικείμενο ενός αρχείου shp δίνεται ένας αριθμός αναγνώρισης (ID), για την αναγνώρισή του από το χρήστη. Αυτά τα αντικείμενα, τακτοποιούνται σε έναν πίνακα όπου η κάθε στήλη είναι μια ομάδα πληροφοριών με το κάθε κελί της να αντιστοιχεί σε ένα αντικείμενο. Ο χρήστης έχει την ικανότητα, μέσω ενός λογισμικού GIS, να επέμβει στον πίνακα αυτό. Στην αρχική του μορφή ο πίνακας αποτελείται μόνο από μία στήλη της οποίας η πληροφορία είναι ο αριθμός ID του κάθε αντικειμένου. Ο

χρήστης, μέσω των λογισμικών GIS, όπως αναφέρεται παραπάνω, μπορεί να επέμβει σε αυτό τον πίνακα και να προσθέσει στήλες με πληροφορίες που αυτός επιθυμεί για κάθε αντικείμενο. Στην παρούσα εργασία οι χάρτες-αρχεία shp που δημιουργήθηκαν ήταν τύπου πολυγωνικού, όπου κάθε πολύγωνο αντιπροσώπευε ουσιαστικά μία ζώνη εντός του αγρού. Έτσι, στον πίνακα με τις πληροφορίες των αντικειμένων-ζωνών, έπρεπε να προστεθεί μια επιπλέον στήλη με πληροφορία για την ποσότητα του λιπάσματος της κάθε ζώνης.

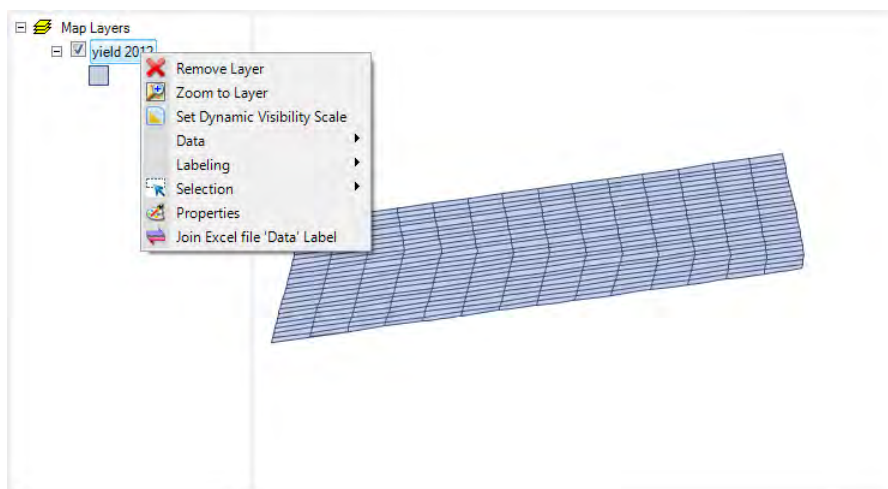
Κάθε λογισμικό GIS πρέπει να παρέχει στον χρήστη την ικανότητα να δει και να επέμβει στον πίνακα πληροφοριών. Μια εξήγηση είναι ότι, ο δημιουργός του χάρτη μπορεί να έχει στη διάθεσή του στοιχεία, να εισάγει τα στοιχεία αυτά σε λογισμικά για δημιουργία ζωνών, και έτσι να δημιουργήσει τον χάρτη του αγρού με τις ζώνες αυτές (όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 2.8.1.). Ο δημιουργός του χάρτη όμως δεν είναι απαραίτητο να έχει γνώσεις γεωπονίας. Για αυτό το λόγο, πρέπει ένας γεωπόνος να μπορεί να επέμβει σε αυτό τον χάρτη και να μπορεί να προσθέσει πληροφορίες όπως η δόση λίπανσης για κάθε ζώνη που έχει δημιουργηθεί. Έτσι το λογισμικό V.R.A. map, όπως σε όλα τα λογισμικά GIS, δίνεται αυτή η δυνατότητα στον χρήστη μέσω του υπο-παράθυρου Attribute Table Editor.

Σε αυτό το υπο-παράθυρο υπάρχει στο κέντρο ένας πίνακας με όλες τις πληροφορίες που είναι ενσωματωμένες στον χάρτη. Επιπλέον, υπάρχει μια γραμμή εργαλείων όπου μπορούμε να εκτελέσουμε διάφορες ενέργειες όπως την εισαγωγή μιας νέας στήλης, δηλαδή μιας νέας πληροφορίας, την διαγραφή μιας υπάρχουσας στήλης ή την μετονομασία της. Επίσης υπάρχουν επιλογές για την επεξεργασία των κελιών, για εύρεση πληροφοριών, για αντικατάσταση πολλών τιμών συγχρόνως, για επιλογή μιας περιοχής του χάρτη (για οπτική παρακολούθηση) μέσω του κελιού πληροφορίας που αντιστοιχεί στην περιοχή και για διεξαγωγή επιλογής πληροφοριών με ερώτημα (Query) (π.χ. επιλογή όλων των περιοχών με μια συγκεκριμένη τιμή της στήλης A και μια συγκεκριμένη τιμή της στήλης B). Μετά την επιλογή περιοχών με ερώτημα μπορούμε να τις διαγράψουμε ή να αλλάξουμε τις τιμές των πληροφοριών τους. Τέλος έχουμε την επιλογή για εξαγωγή του πίνακα ιδιοτήτων ή μέρους αυτού στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή, σε μορφή

αρχείου Microsoft Excel. Αυτή η επιλογή μας δίνει τη δυνατότητα να αποθηκεύσουμε τις πληροφορίες του χάρτη για μελλοντική χρήση ή για αρχειοθέτηση.

Ένα παράδειγμα για την λειτουργικότητα των παραπάνω είναι το εξής. Μετά την δημιουργία ενός χάρτη ο οποίος έγινε με στοιχεία όπως η ανάλυση εδάφους και τα θρεπτικά που εξήλθαν με τη συγκομιδή της προηγούμενης χρονιάς, ένας εξειδικευμένος γεωπόνος, μπορεί να εισάγει το χάρτη στο λογισμικό V.R.A. map. Στη συνέχεια, εισάγει στον πίνακα πληροφοριών μια νέα στήλη, μετονομάζει την στήλη αυτή με όνομα που να αντιπροσωπεύει την πληροφορία για την δόση λιπάσματος της κάθε ζώνης. Το επόμενο βήμα είναι να εισάγει σε όλες τις ζώνες με ίδια στοιχεία, την ίδια ποσότητα λιπάσματος. Για να γίνει αυτό, κάνει επιλογή των ζωνών με ερώτημα «ίδιο εύρος τιμής της ανάλυσης εδάφους και ίδιο εύρος τιμής των θρεπτικών που εξήλθαν» και σε αυτές τις ζώνες, εισάγει στη νέα στήλη την επιθυμητή τιμή λίπανσης. Στο τέλος κάνει εξαγωγή του πίνακα σε τοποθεσία στον σκληρό δίσκο για αρχειοθέτησή. Από τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό ότι η επιλογές που αφορούν τον πίνακα πληροφοριών απευθύνονται μόνο σε εξειδικευμένους χρήστες λειτουργικών GIS και όχι σε χρήστη που θέλει μόνο να πραγματοποιήσει μεταβλητή λίπανση με έναν προσχεδιασμένο χάρτη για αυτή τη χρήση.

3.1.2. ΧΑΡΤΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Εικόνα 29: Ο Χάρτης (δεξιά), το υπόμνημα του (αριστερά) καθώς και οι διαθέσιμες επιλογές που εμφανίζονται πατώντας το δεξί κουμπί του ποντικιού του H/Y.

Το μεγαλύτερο μέρος του κεντρικού παραθύρου του λογισμικού, το καταλαμβάνει ένας κενός χώρος όπου εμφανίζεται ο χάρτης μέσω της επιλογής Open Map της γραμμής εργαλείων. Στην δεξιά πλευρά εμφανίζεται ο χάρτης ή οι χάρτες που έχουμε εισάγει. Εκεί, μπορούμε να δούμε κάθε στιγμή, εκτός του χάρτη, την θέση του λιπασματοδιανομέα στον χάρτη (δηλαδή στον αγρό) ως μια κινούμενη κόκκινη κουκίδα. Στην αριστερή του πλευρά υπάρχει το υπόμνημα στο οποίο εμφανίζονται ονομαστικά όλοι οι χάρτες (Layers) που έχουμε εισάγει.

Στο λογισμικό V.R.A. map, όπως σε όλα τα λογισμικά GIS, δίνεται η επιλογή για εισαγωγή πολλών χαρτών. Στην περίπτωση που έχουμε εισάγει στο λογισμικό έναν μόνο χάρτη, όλες οι επιλογές που κάνουμε αναφέρονται στον χάρτη αυτό. Αν εισάγουμε όμως δύο ή περισσότερους, τότε το λογισμικό δεν είναι δυνατό να γνωρίζει με ποιόν χάρτη θέλουμε να αλληλοεπιδράσουμε. Για τον λόγο αυτό, το υπόμνημα λειτουργεί ουσιαστικά σαν μία λίστα στην οποία εμφανίζονται ονομαστικά οι χάρτες και έτσι ο χρήστης επιλέγει με ποιον θέλει να αλληλεπιδράσει, να αλλάξει τον πίνακα πληροφοριών ή να εφαρμόσει μεταβλητή λίπανση. Σε αυτή την περιοχή, επιλέγοντας έναν χάρτη (με το ποντίκι του υπολογιστή), στην συνέχεια με το πάτημα του δεξιού κουμπιού εμφανίζεται ένα μενού επιλογών (Εικόνα 29):

- Η πρώτη επιλογή του μενού αυτού χρησιμεύει για τη διαγραφή του επιπέδου που έχουμε επιλέξει (π.χ. στην περίπτωση που ο χρήστης έχει εισάγει περισσότερους από έναν χάρτη, η επιλογή χρησιμεύει στην διαγραφή, κάθε φορά, του χάρτη στον οποίο έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία μεταβλητής λίπανσης).
- Σε περίπτωση εισαγωγής πολλών χαρτών υπάρχει η επιλογή για κεντράρισμα του κεντρικού παραθύρου στον επιλεγμένο χάρτη.
- Η επιλογή αυξομείωσης της ορατότητας του επιπέδου. Αυτή είναι μια επιλογή που μπορεί να παρέχει καλύτερη οπτική της τοποθεσίας σε περίπτωση που έχουμε τοποθετήσει φωτογραφία της περιοχής ως υπόβαθρο (background) σε έναν χάρτη.

- Επιλογή για εξαγωγή του πίνακα πληροφοριών του χάρτη στο σκληρό δίσκο του υπολογιστή (αυτή η ενέργεια μπορεί να γίνει μέσω του υπο-παραθύρου Attribute Table Editor, αλλά προστέθηκε και εδώ για ταχύτερη διεκπεραίωση της).
- Επιλογή για εμφάνιση ετικετών των πληροφοριών στις διάφορες ζώνες του χάρτη (π.χ. με την ποσότητα του λιπάσματος) για οπτική παρατήρηση.
- Τέλος μπορούμε να αλλάξουμε τις ιδιότητες του χάρτη. Με αυτή την επιλογή μπορούμε να αλλάξουμε το σύστημα συντεταγμένων ενός χάρτη (π.χ. από μοίρες σε δεκαδικούς βαθμούς) για να υπάρχει συμβατότητα με τους υπόλοιπους χάρτες που μπορεί να έχουν εισαχθεί στο λογισμικό.

3.1.3. ΚΑΡΤΕΛΕΣ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ GPS ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ

Στην δεξιά πλευρά του κεντρικού παραθύρου, υπάρχει ένα πλαίσιο με δύο καρτέλες στις οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά πληροφορίες και επιλογές που αφορούν το GPS που είναι συνδεδεμένο με το λογισμικό και τον ηλεκτροκινητήρα.

The image shows a software interface with two tabs: 'G.P.S. Info' and 'Motor Data'. The 'G.P.S. Info' tab contains fields for Status, Latitude, Longitude, and Satellites, along with a 'G.P.S. Data' section. The 'Motor Data' tab contains 'Stepper Control Details' including fields for Attached, Name, Serial No., Version, # Steppers, Current Limit, Velocity Limit, Acceleration, Position Tar, and Actual values. It also includes 'Digital Inputs' for Input 0, Input 1, Input 2, and Input 3, and a 'Target Position' field.

Εικόνα 30: Οι δύο καρτέλες με επιλογές και πληροφορίες για το GPS και τον ηλεκτροκινητήρα.

3.1.3.1. ΚΑΡΤΕΛΑ G.P.S. Info

Στην καρτέλα με όνομα G.P.S. Info υπάρχει η κεντρική περιοχή, η περιοχή με όνομα COM Port και η περιοχή με όνομα G.P.S. Data. Σε αυτές τις περιοχές υπάρχουν επιλογές και πληροφορίες που έχουν να κάνουν με τη λειτουργία του συνδεδεμένου δέκτη GPS.

Στην κεντρική περιοχή παρουσιάζονται οι πληροφορίες:

- Στο κελί πληροφοριών με όνομα Status γίνεται η αναγραφή της κατάστασης του δέκτη GPS (1 ενεργός, 0 ανενεργός).
- Στα κελιά με όνομα latitude και longitude αναγράφεται η γεωγραφική θέση του GPS (μήκος και πλάτος) στο σύστημα συντεταγμένων WGS84.
- Στο κελί με όνομα Satellites αναγράφεται το πλήθος των συνδεδεμένων δορυφόρων
- Τέλος υπάρχει ένα πλαίσιο καταγραφής της λειτουργίας του δέκτη. (π.χ. εκεί μπορούμε να δούμε τυχόν σφάλματα στη λειτουργία του δέκτη)

Στην περιοχή G.P.S. Data βρίσκεται ένα πλαίσιο στο οποίο αναγράφεται ο κώδικας NMEA όπως καταγράφεται από τον δέκτη GPS για την εύρεση της θέσης του.

Τέλος στην περιοχή COM Port υπάρχουν επιλογές όπως:

- Ένα μενού στο οποίο επιλέγει ο χρήστης την θύρα σύνδεσης του υπολογιστή με τον δέκτη GPS (Συμπληρώνεται αυτόματα με την σύνδεση του δέκτη στον υπολογιστή).
- Ένα μενού στο οποίο ο χρήστης επιλέγει την ταχύτητα σύνδεσης μεταξύ υπολογιστή και δέκτη (Συμπληρώνεται αυτόματα με τη σύνδεση του δέκτη στον υπολογιστή)
- Και δύο κουμπιά για την έναρξη ή τον τερματισμό της σύνδεσης του δέκτη GPS με το λογισμικό.

3.1.3.2. KAPTEΛA Motor Data

Στην καρτέλα με όνομα Motor Data υπάρχει η κεντρική περιοχή, η περιοχή Stepper Control Details και η περιοχή Digital inputs. Έτσι παρέχονται επιλογές και τεχνικές πληροφορίες σχετικά με τον ηλεκτροκινητήρα και τον ελεγκτή.

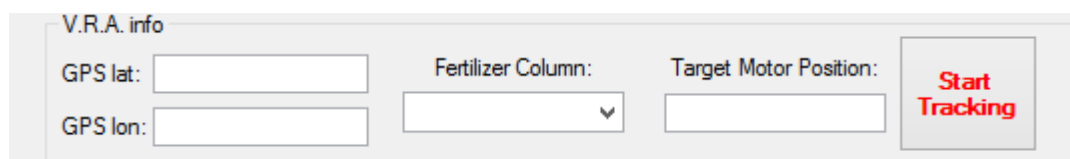
Στην περιοχή με όνομα Stepper Control Details, υπάρχουν πληροφορίες όπως το όνομα και η έκδοση του ελεγκτή και του ηλεκτροκινητήρα, η κατάστασή τους (ενεργά ή ανενεργά) και το πλήθος των συνδεδεμένων ηλεκτροκινητήρων με τον υπολογιστή. Υπάρχει η δυνατότητα για σύνδεση τεσσάρων ηλεκτροκινητήρων στο λογισμικό μέσω του διαθέσιμου ελεγκτή αλλά, στη συγκεκριμένη διατριβή χρησιμοποιήθηκε μόνο ένας. Μελλοντικά μπορεί να καλύψει περισσότερους από έναν λιπασματοδιανομείς για τα τρία κύρια στοιχεία (NPK) ή άλλη εφαρμογή.

Στην περιοχή Digital inputs μπορούμε να δούμε την θύρα σύνδεσης του ελεγκτή με τον υπολογιστή.

Στην κεντρική περιοχή υπάρχουν πληροφορίες που αφορούν την λειτουργία του ηλεκτροκινητήρα όπως η ταχύτητα, η επιτάχυνση, οι στροφές που έχουν πραγματοποιηθεί, και το όριο του ρεύματος λειτουργίας. Σε αυτή την περιοχή ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την ταχύτητα περιστροφής, την επιτάχυνση, την αρχική θέση του άξονα, το όριο του ρεύματος λειτουργίας και τον επιθυμητό αριθμό στροφών. Αυτές οι επιλογές έχουν ως αρχικές τιμές τις προτεινόμενες από τον κατασκευαστή και παρέχονται στο λογισμικό μόνο για την περίπτωση αλλαγής του ηλεκτροκινητήρα ή του ελεγκτή. Τέλος, στην κεντρική περιοχή υπάρχουν 2 πλαίσια τα οποία μπορούν να ελεγχθούν για την έναρξη ή τον τερματισμό της σύνδεσης του λογισμικού με τον ελεγκτή και τον ηλεκτροκινητήρα.

3.1.4. ΠΕΡΙΟΧΗ V.R.A. info

Στο κάτω μέρος του κεντρικού παραθύρου του λογισμικού υπάρχει διαθέσιμη μία περιοχή με όνομα V.R.A. info όπου υπάρχουν συγκεντρωμένες βασικές πληροφορίες τις οποίες παρέχει το πρόγραμμα στον χρήστη καθώς και το κουμπί έναρξης της διαδικασίας της μεταβλητής λίπανσης.



Εικόνα 31: Τμήμα βασικών πληροφοριών και επιλογών

Στα κελιά πληροφοριών με όνομα GPS lat. και GPS lon. αναγράφεται το γεωγραφικό πλάτος και μήκος του δέκτη GPS και κατά συνέπεια του λιπασματοδιανομέα. Στο κελί με όνομα Target Motor Position αναγράφονται οι περιστροφές που πρέπει να πραγματοποιηθούν από τον ηλεκτροκινητήρα για να φτάσει το άνοιγμα του μετρητικού μηχανισμού στην επιθυμητή θέση καθώς επίσης και η ποσότητα του λιπάσματος (kg/στρέμμα) που θα εξέλθει από τον λιπασματοδιανομέα. Στο μενού-λίστα με όνομα Fertilizer Column, ο χρήστης επιλέγει το όνομα της στήλης του πίνακα πληροφοριών, με τις επιθυμητές ποσότητες λιπάσματος για κάθε ζώνη του χάρτη (αφού πρώτα έχει πατήσει την επιλογή Load columns στη γραμμή εργαλείων). Τέλος, στην δεξιά πλευρά υπάρχει το κουμπί με την αναγραφή Start Tracking όπου, με το πάτημα του ενεργοποιείται η διαδικασία της μεταβλητής λίπανσης (ανίχνευση θέσης, ανάγνωση επιθυμητής ποσότητας λίπανσης, σύγκριση με την πραγματική ποσότητα λίπανσης, εντολή μεταβολής του ανοίγματος του μετρητικού μηχανισμού).

3.1.5. ΒΑΣΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται η βασική λειτουργία του συστήματος, δηλαδή η εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης σε έναν αγρό όπου στον πίνακα πληροφοριών του χάρτη του αγρού υπάρχει στήλη με τις τιμές του λιπάσματος για κάθε ζώνη. Αρχικά, πρέπει να γίνει σύνδεση του

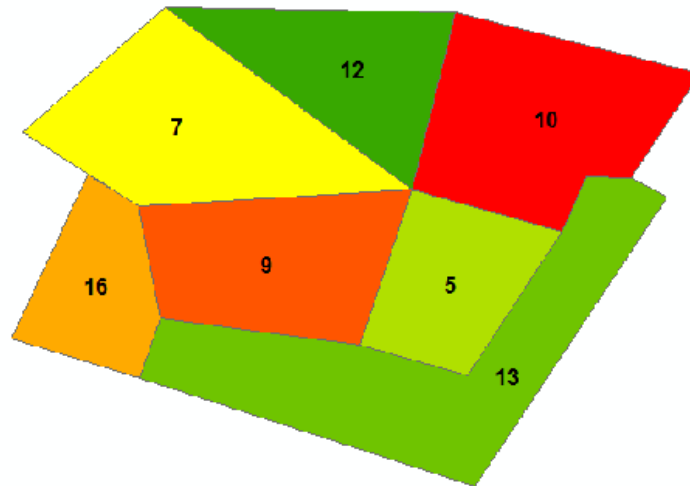
ηλεκτροκινητήρα με τον ελεγκτή και του ελεγκτή με τον υπολογιστή μέσω USB. Στην συνέχεια πρέπει να γίνει σύνδεση του δέκτη GPS με τον υπολογιστή. Τελικά, ανοίγουμε το λογισμικό V.R.A. app μέσω του οποίου γίνεται η επικοινωνία μεταξύ όλων των παρελκόμενων και του χρήστη.

Στο περιβάλλον του λογισμικού, ο χρήστης εισάγει τον χάρτη του αγρού, επιλέγει τη στήλη με τις ποσότητες των λιπασμάτων για κάθε ζώνη διαχείρισης και ενεργοποιεί τις επιλογές έναρξης σύνδεσης με το λογισμικό (την επιλογή Start στην καρτέλα G.P.S. Info και την επιλογή Engaged στην καρτέλα Motor Data). Τελικά με το πάτημα του κουμπιού με ονομασία Start Tracking το λογισμικό λαμβάνει συνεχόμενα την θέση του GPS, την συγκρίνει με τις συντεταγμένες του χάρτη, αναγνωρίζει την περιοχή του χάρτη στην οποία κινείται το GPS (και κατά συνέπεια ο λιπασματοδιανομέας), διαβάζει την ποσότητα του λιπάσματος που απαιτείται στην περιοχή αυτή και αναλόγως δίνει εντολή στον ηλεκτροκινητήρα να αυξήσει ή να μειώσει το άνοιγμα του στομίου ή να μην κάνει καμία ενέργεια. Η διαδικασία της μεταβολής της δόσης του λιπάσματος είναι αυτόματη και ο χρήστης μπορεί να βλέπει διάφορες πληροφορίες μέσω του περιβάλλοντος του λογισμικού.

3.2. ΔΟΚΙΜΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το σύστημα δεν ήταν δυνατόν να δοκιμαστεί σε πραγματικές συνθήκες αγρού λόγω του περιορισμένου χρόνου και των καιρικών συνθηκών. Για αυτό αποφασίστηκε να γίνει στον χώρο μπροστά από τη Σχολή Γεωπονικών Επιστημών του Π.Θ.

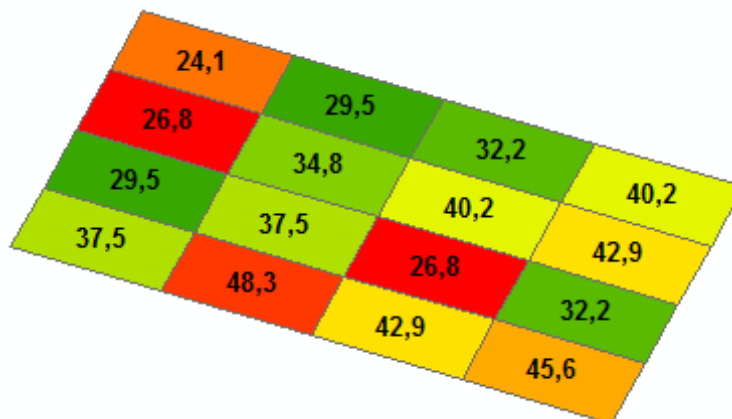
Στην αρχή, δημιουργήθηκαν 2 χάρτες με συντεταγμένες του εξωτερικού χώρου της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών και με ζώνες που περιείχαν θεωρητικές τιμές λίπανσης. Στη συνέχεια η δοκιμή του συστήματος που δημιουργήθηκε έγινε σε δύο φάσεις. Στην πρώτη, συνδέθηκε ο κινητήρας stepper, ο ελεγκτής και ο δέκτης GPS με φορητό υπολογιστή, έγινε έναρξη του λογισμικού και εισαγωγή του πρώτου χάρτη (Εικόνα 32).



Εικόνα 32: Χάρτης για έλεγχο συστήματος VRA. Οι αριθμοί αντιστοιχούν στην τιμή του ανοίγματος του στομίου του μετρητικού μηχανισμού.

Το σύστημα μετακινήθηκε στον προαύλιο χώρο του Πανεπιστημίου όπου είχε δημιουργηθεί ο πρώτος χάρτης για να ελεγχθεί η επικοινωνία των διαφόρων μερών του συστήματος, καθώς το σύστημα κινείται από ζώνη σε ζώνη, και για να διαπιστωθεί αν πραγματοποιείται ο προβλεπόμενος αριθμός περιστροφών του άξονα του κινητήρα (οι περιστροφές του κινητήρα, οδηγούν σε αυξομείωση του ανοίγματος του στομίου του μετρητικού μηχανισμού).

Στη δεύτερη φάση, το σύστημα συνδέθηκε στον πρωτότυπο λιπασματοδιανομέα, εντός του εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας για να μετρηθεί τυχόν σφάλμα του κινητήρα και να διαπιστωθεί αν αυτό επηρεάζει τη λειτουργία του συστήματος. Για αυτό το σκοπό, ο χάρτης που δημιουργήθηκε αποτελούταν από 4 σειρές, με 4 ζώνες στην κάθε σειρά (Εικόνα 33).



Εικόνα 33: Χάρτης για μέτρηση σφάλματος. Οι τιμές, είναι η ποσότητα του λιπάσματος σε Kg/στρέμμα, κάθε ζώνης, σε 4 διαφορετικές σειρές.

Το άνοιγμα του στομίου σε κάθε ζώνη καθορίστηκε ως εξής:

1. Στην πρώτη σειρά, το άνοιγμα του στομίου αυξανόταν σε κάθε ζώνη.
2. Στην δεύτερη σειρά το άνοιγμα μειωνόταν σε κάθε ζώνη.
3. Στην τρίτη σειρά υπήρχε εναλλαγή (αύξηση από την 1^η ζώνη στην 2^η, μείωση από την 2^η στην 3^η και αύξηση από την 3^η στην 4^η).
4. Στην τέταρτη σειρά υπήρχε εναλλαγή αντίστροφη της 3^{ης} (μείωση - αύξηση – μείωση).

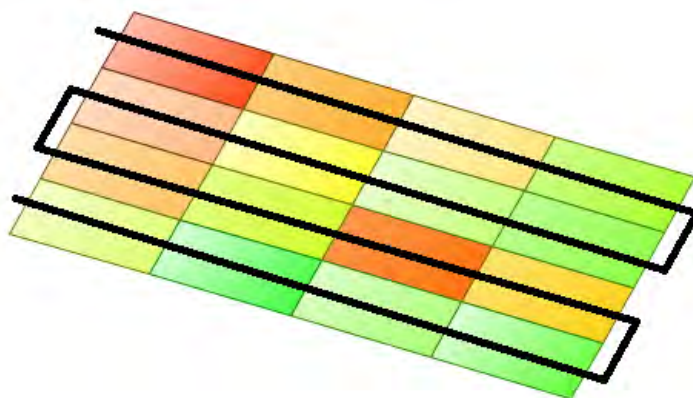
Το γρανάζι που εφαρμόστηκε στον κινητήρα για την μεταβολή του ανοίγματος του στομίου, αποτελούταν από 11 οδοντώσεις εκ των οποίων η μία σηματοδεύτηκε. Επίσης, τοποθετήθηκε δίπλα από το γρανάζι, δείκτης για να μετρηθεί, μετά από κάθε αλλαγή ζώνης, η απόκλιση από τον προκαθορισμένο αριθμό στροφών του κινητήρα (Εικόνα 34). Για την λειτουργία του συστήματος έγινε εξομοίωση των θέσεων του δέκτη GPS.



Εικόνα 34: Δείκτης και σηματοδεμένη οδόντωση.

Η εξομοίωση βασίστηκε σε θεωρητική κίνηση του συστήματος εντός του χάρτη (Εικόνα 35). Η μετάβαση από μια ζώνη στην επόμενη καθορίστηκε στα 3 λεπτά ώστε να ολοκληρωθεί ο αριθμός περιστροφών του κινητήρα και να μετρηθεί το σφάλμα. Στο σύστημα που αναπτύχθηκε ο ηλεκτροκινητήρας που ήταν υπεύθυνος για την αλλαγή της ρύθμισης είχε ως μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 0,5 περιστροφές/δευτερόλεπτο. Έτσι για μετάβαση σε ζώνη στην οποία πρέπει να γίνουν 5 περιστροφές (+ 12,5 Kg) για την αλλαγή της ρύθμισης θα χρειαστούν 10 δευτερόλεπτα. Αυτός ο χρόνος με μια θεωρητική ταχύτητα του ελκυστήρα 3 m/s αντιστοιχεί σε 30 m. Σε αυτή την απόσταση εντός κάθε ζώνης, η ποσότητα που θα εξέρχεται από το λιπασματοδιανομέα θα είναι λανθασμένη. Αυτό το σφάλμα μπορεί να λυθεί με την αντικατάσταση του ηλεκτροκινητήρα με έναν μεγαλύτερης ταχύτητας. Τη στιγμή της έναρξης

της εργασίας, ο ηλεκτροκινητήρας που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτός με τον καλύτερο συνδυασμό ταχύτητας και ροπής. Ο αντίστοιχος κινητήρας τη στιγμή της συγγραφής της παρούσας εργασίας (3336_0 86STH156 NEMA-34) παρέχει μεγαλύτερη ροπή και η ταχύτητα του μπορεί να φτάσει μέχρι 1500 περιστροφές στο λεπτό. Έτσι ο χρόνος για 5 περιστροφές μπορεί να μειωθεί από 10 δευτερόλεπτα σε 20 κλάσματα του δευτερολέπτου και σε 0,6 m. Άλλη λύση είναι η τροποποίηση του λογισμικού ώστε να υπολογίζει την απόσταση από την θέση του συστήματος μέχρι την επόμενη ζώνη και να ξεκινά η διαδικασία αλλαγής της ρύθμισης πιο νωρίς ώστε το σφάλμα να διαμοιραστεί σε 2 ζώνες. Αυτό όμως μπορεί να οδηγήσει σε ένα νέο πρόβλημα. Το σφάλμα δεν θα μειωθεί ουσιαστικά, γιατί η απόσταση που θα καλυφθεί στην αρχή της ζώνης θα είναι η μισή, αλλά θα δημιουργηθεί επιπλέον σφάλμα στο τέλος της και πριν τη μετάβαση στην επόμενη.

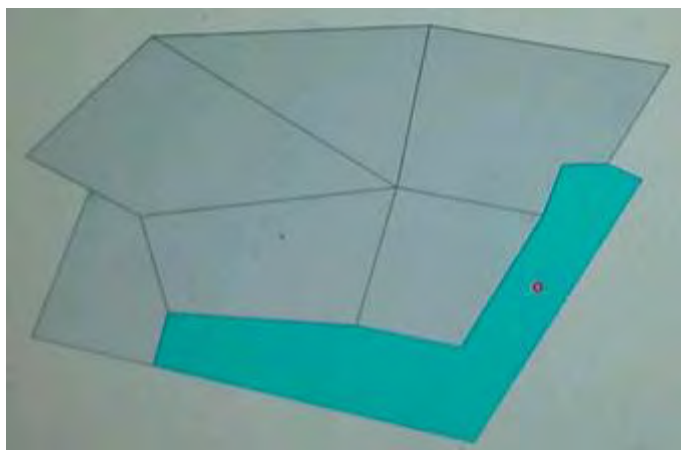


Εικόνα 35: Η κίνηση του συστήματος στον χώρο εξομοιώθηκε με βάση τη διαδρομή (μαύρη γραμμή). Η πρώτη ζώνη ήταν η πάνω αριστερά.

Το στόμιο του μετρητικού μηχανισμού, για να μεταβληθεί από κλειστό στο μέγιστο άνοιγμά του, πρέπει να γίνουν 20 περιστροφές του κινητήρα. Για αυτό το λόγο, στο τέλος της δοκιμής αποσυνδέθηκε ο κινητήρας από το λιπασματοδιανομέα και πραγματοποιήθηκαν 150 περιστροφές του σε διαφορετικά στάδια, στην αρχή δεξιόστροφα και μετά αριστερόστροφα για να διαπιστωθεί το σφάλμα του, σε μεγαλύτερη κλίμακα. Στο τέλος έγινε εκτίμηση του σφάλματος και αναγωγή του σε kg/στρέμμα.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο πρώτο μέρος της δοκιμής, το σύστημα μετακινήθηκε στον εξωτερικό χώρο του πανεπιστημίου, όπου σχεδιάστηκε χάρτης με θεωρητικές ζώνες μεταβλητής λίπανσης. Έτσι ελέγχθηκε η επικοινωνία των επιμέρους τμημάτων του συστήματος. Η δοκιμή ήταν επιτυχής καθώς το σύστημα ανίχνευε μέσω του δέκτη GPS την θέση του συστήματος, επικοινωνούσε με το λογισμικό, το οποίο με την σειρά του έδινε εντολή στον κινητήρα stepper να περιστραφεί δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα σε κάθε μετάβαση από μια ζώνη στην επόμενη. Ο αριθμός των περιστροφών ήταν ο σωστός σύμφωνα με τα στοιχεία του χάρτη που δημιουργήθηκε. Η θέση του συστήματος, γινόταν αντιληπτή στην οθόνη του υπολογιστή ως μια κινούμενη κόκκινη κουκίδα (Εικόνα 36).



Εικόνα 36: Η θέση του συστήματος στον χάρτη.

Το μοναδικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε στη δοκιμή, ήταν το αναμενόμενο σφάλμα στην ακρίβεια της γεωγραφικής θέσης του συστήματος, όπως αυτή αναγνωριζόταν από το δέκτη GPS. Αυτό οφείλεται στη λειτουργία του GPS μιας και το σφάλμα ενός απλού – συμβατικού δέκτη, χωρίς σύστημα διόρθωσης, μπορεί να είναι, με βάση τον κατασκευαστή, μέχρι και 3 μέτρα.

Στην συνέχεια το σύστημα μεταφέρθηκε εντός του εργαστηρίου της Γεωργικής μηχανολογίας, συνδέθηκε με το λιπασματοδιανομέα και έγινε εισαγωγή του δεύτερου χάρτη για να βρεθεί η απόκλιση ανάμεσα στις προβλεπόμενες και τις πραγματικές περιστροφές του κινητήρα. Η κίνηση του

συστήματος εντός του χάρτη, για τη μετάβαση από μια ζώνη στην επόμενη, έγινε με εξομοίωση. Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής αυτής, δημιουργήθηκε πίνακας excel με τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν. Στον πίνακα αναγράφεται στην πρώτη στήλη, η τιμή του ανοίγματος στην αρχική ζώνη και η τιμή του ανοίγματος στην επόμενη ζώνη. Στην δεύτερη στήλη αναγράφεται ο αριθμός των περιστροφών που πρέπει να πραγματοποιηθεί από τον κινητήρα για να επιτευχθεί το άνοιγμα (θετικές τιμές είναι δεξιόστροφη περιστροφή, αρνητικές τιμές είναι αριστερόστροφη περιστροφή). Στην τρίτη στήλη αναγράφεται ο πραγματικός αριθμός περιστροφών που πραγματοποίησε ο κινητήρας. Τέλος, στην τέταρτη στήλη αναγράφεται το συνολικό σφάλμα κατά τη λειτουργία του συστήματος.

| Τιμή ανοίγματος (από ζώνη A σε B) | Διαφορά ανοίγματος | Πραγματική μέτρηση | Συνολική Διαφορά |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 0 => 9 | 9 | 9,05 | 0,05 |
| 9 => 11 | 2 | 2,00 | 0,05 |
| 11 => 12 | 1 | 1,00 | 0,05 |
| 12 => 15 | 3 | 3,03 | 0,08 |
| 15 => 16 | 1 | 1 | 0,08 |
| 16 => 15 | -1 | -1 | 0,08 |
| 15 => 13 | -2 | -2 | 0,08 |
| 13 => 10 | -3 | -3,03 | 0,05 |
| 10 => 11 | 1 | 1 | 0,05 |
| 11 => 14 | 3 | 3,03 | 0,08 |
| 14 => 10 | -4 | -4,03 | 0,05 |
| 10 => 12 | 2 | 2 | 0,05 |
| 12 => 17 | 5 | 5,04 | 0,09 |
| 17 => 16 | -1 | -1 | 0,09 |
| 16 => 18 | 2 | 2 | 0,09 |
| 18 => 14 | -4 | -4 | 0,09 |
| 14 => 0 | -14 | -14,09 | 0,00 |

Πίνακας 1: πίνακας για αναγνώριση και μέτρηση του σφάλματος του κινητήρα.

Από τα αποτελέσματα συμπεραίνουμε ότι το σφάλμα του κινητήρα είναι πάντα θετικό προς τη φορά περιστροφής. Όταν έχουμε αύξηση του ανοίγματος, το τελικό άνοιγμα θα είναι μεγαλύτερο από το προκαθορισμένο, ενώ όταν έχουμε μείωση του ανοίγματος, το τελικό άνοιγμα θα είναι μικρότερο. Επίσης σε πλήρη κύκλο πραγματοποίησης διαφορετικών ανοιγμάτων όπου η τιμή του αρχικού και του τελικού ανοίγματος του στομίου είναι η ίδια, το συνολικό σφάλμα θα είναι μηδέν.

Στο τέλος, αποσυνδέθηκε ο κινητήρας από το λιπασματοδιανομέα και πραγματοποιήθηκαν 150 περιστροφές σε διαφορετικά επίπεδα δεξιόστροφα και στη συνέχεια αριστερόστροφα. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

| Τιμή ανοίγματος (από ζώνη A σε B) | Διαφορά ανοίγματος | Πραγματική μέτρηση | Συνολική Διαφορά |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| 0 => 50 | 50 | 50,27 | 0,27 |
| 50 => 70 | 20 | 20,09 | 0,36 |
| 70 => 100 | 30 | 30,16 | 0,52 |
| 100 => 150 | 50 | 50,25 | 0,77 |
| 150 => 0 | -150 | -150,77 | 0,00 |

Πίνακας 2: Αποτελέσματα, του σφάλματος των 150 περιστροφών του κινητήρα.

Και σε αυτή τη δοκιμή το αποτέλεσμα ήταν το ίδιο. Ο κινητήρας έχει σφάλμα πάντα θετικό προς την περιστροφή του άξονά του και όπως φαίνεται μετά από πραγματοποίηση ενός αριθμού περιστροφών προς μία κατεύθυνση δημιουργείται ένα σφάλμα το οποίο μηδενίζεται με την πραγματοποίηση του ίδιου αριθμού περιστροφών προς την αντίθετη κατεύθυνση.

Με το λιπασματοδιανομέα που χρησιμοποιήθηκε, όπου η τιμή του ανοίγματος του στομίου εντάσσεται στα όρια 0 – 20 περιστροφών του κινητήρα, η διαφορά ανάμεσα στο προκαθορισμένο και το πραγματικό άνοιγμα είναι 0 – 0,5%. Σύμφωνα με τη βαθμονόμηση του λιπασματοδιανομέα, για κάθε επόμενη τιμή του ανοίγματος του στομίου του μετρητικού μηχανισμού (1 περιστροφή του κινητήρα) υπάρχει αύξηση της ποσότητας του λιπάσματος, 2,5 Kg/στρέμμα σε σχέση με την προηγούμενη. Επίσης στο μέγιστο άνοιγμα εξέρχεται λίπασμα ποσότητας 50 Kg/στρέμμα. Με βάση τα τρία παραπάνω στοιχεία, στο μέγιστο άνοιγμα του στομίου του μετρητικού μηχανισμού του λιπασματοδιανομέα (20 περιστροφές) και με τη μέγιστη διαφορά μεταξύ προκαθορισμένου και πραγματικού ανοίγματος (+0,5% σφάλμα), η επιπλέον ποσότητα του λιπάσματος που θα εξέλθει υπολογίζεται στα 250 γραμμάρια/στρέμμα.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις (VRA) είναι μια πρακτική που μπορεί να οδηγήσει σε μεγιστοποίηση της παραγωγής με παράλληλη ελαχιστοποίηση των εξόδων. Επιπλέον με τη μείωση των ποσοτήτων των εισροών επιτυγχάνεται προστασία του περιβάλλοντος. Για να γίνει εφικτή όμως η VRA, απαιτείται αγορά καταλλήλου εξοπλισμού. Ο εξοπλισμός αυτός, αποτελείται από το δέκτη GPS, τον ελεγκτή καμπίνας και τη συσκευή ελέγχου ροής. Στην παρούσα εργασία, δημιουργήθηκε ένα οικονομικό και αποτελεσματικό σύστημα εφαρμογής μεταβλητών δόσεων λίπανσης. Το σύστημα αυτό αποτελείται από λογισμικό το οποίο μπορεί να εγκατασταθεί σε υπολογιστή, δέκτη GPS, ελεγκτή, ηλεκτροκινητήρα πολλαπλών βημάτων που λειτουργεί ως συσκευή μεταβολής της ροής του λιπάσματος και ένα απλό κιβώτιο λιπάσματος που κατασκευάστηκε σε ένα τοπικό μηχανουργείο και περιείχε ένα μηχανισμό αυλακωτού και λείου κυλίνδρου για την εφαρμογή και ρύθμιση της ποσότητας λιπάσματος.

Οι συμβατικοί εξοπλισμοί VRA κοστολογούνται σε χιλιάδες Euro, ενώ το σύστημα της παρούσας εργασίας δημιουργήθηκε με ελάχιστα έξοδα. Ένα επιπλέον πρόβλημα είναι ότι οι εξοπλισμοί που κυκλοφορούν στην αγορά, συνήθως είναι συμβατοί μόνο με παρελκόμενα εξαρτήματα της ίδιας εταιρίας. Στην περίπτωση του συστήματος που αναπτύχθηκε, τα παρελκόμενα μπορούν να αλλάξουν, με μοναδικό περιορισμό, να είναι δυνατή η σύνδεσή τους με υπολογιστή. Το λογισμικό που δημιουργήθηκε για την επικοινωνία όλων των παρελκόμενων βασίζεται σε βιβλιοθήκες ανοιχτού κώδικα. Με αυτό τον τρόπο είναι πιο εύκολη η εξέλιξη και την τροποποίηση των συστημάτων, για να μπορούν να προσαρμοστούν σε διάφορες εργασίες ή να εκτελέσουν επιπλέον. Δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρέμβει στον κώδικα, να τον αλλάξει σύμφωνα με τις δικές του ανάγκες, ακόμα και να προσθέσει επιπλέον λειτουργίες (μια ιδέα είναι η ενσωμάτωση δυνατότητας δημιουργίας χαρτών και ζωνών διαχείρισης, ώστε να αποφευχθεί η ανάγκη χρήσης τρίτων λογισμικών για αυτό το σκοπό). Τα παραπάνω, είναι αδύνατο να πραγματοποιηθούν με την πλειοψηφία των συστημάτων VRA που

κυκλοφορούν στην αγορά, τα οποία δεν επιτρέπουν στον χρήστη την τροποποίησή τους. Όμως, ενώ το σύστημα που αναπτύχθηκε είναι ανοιχτό, και ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επέμβει και να το τροποποιήσει σύμφωνα με τις ανάγκες του, για να γίνει αυτό, είναι απαραίτητες γνώσεις προγραμματισμού, γνώσεις της λειτουργίας των συστημάτων GIS και VRA και κατά συνέπεια αυτή η δυνατότητα δεν απευθύνεται στο σύνολο των χρηστών τέτοιων συστημάτων αλλά σε εξειδικευμένους συμβούλους τους.

Από τη δοκιμή του συστήματος γίνεται αντιληπτό ότι, για την ακριβέστερη λειτουργία του, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας δέκτης GPS τύπου RTK-GPS ή D-GPS για να υπάρχει ακριβέστερη αναγνώριση της θέσης του στον αγρό, μιας και οι συμβατικοί δέκτες, περιέχουν σφάλμα στη μέτρηση των γεωγραφικών θέσεων που μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένη εφαρμογή της VRA. Επιπλέον, από τη μέτρηση του σφάλματος του ηλεκτροκινητήρα που ευθύνεται για τη μεταβολή της δόσης λίπανσης, διαπιστώθηκε ότι η πραγματική ποσότητα που εξέρχεται από τον λιπασματοδιανομέα, μπορεί να διαφέρει από την θεωρητική μέχρι 250 γραμμάρια/στρέμμα. Αυτή η ποσότητα ουσιαστικά δεν επηρεάζει την εφαρμογή της μεταβλητής λίπανσης.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abbas, A., Khan, S., Hussain, N., Hanjra, M. A., Akbar S. (2013). Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 55-57: 43-52.
2. Aimrun, W. M., Amin, S. M., Ezrin, M. H., Mastura, M. (2011). Paddy soil properties and yield characteristics based on apparent electrical conductivity zon delineation for a humid tropical rice farm. *African Journal of Agricultural Research*, 6(23): 5339-5350.
3. Ali, A. M., Thind, H. S., Sharma, S., Sing, V. (2014). Prediction of dry direct-seeded rice yields using chlorophyll meter, leaf color chart and GreenSeeker optical sensor in northwestern India. *Field Crops Research*, 161: 11-15.
4. Aquilar, C., Zinnert, J. C., Polo, M. J., Young, D. R. (2012). NDVI as an indicator for changes in water availability to woody vegetation. *Ecological Indicators*, 23: 290-300.
5. Blackmore, S., Godwin, R. J., Fountas, S. (2003). The analysis of spatial and temporal trends in yield map data over six years. *Biosystems Engineering*, 84(4): 455-466.
6. Blewitt, G. (1997). Basics of the GPS Technique: Observation Equations. In: *Geodetic Applications of GPS*, ed. B. Johnson, p. 10-54, Nordic Geodetic Commission, Sweden.
7. Campbell, J. B. (2002). *Introduction to Remote Sensing*. Taylor and Francis. London.

8. Coppock, J. T., Rhind, D. W. (1991). The History of GIS. *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, 1: 21-43.
9. Chen, D., Shams, S., Moreno, C., Leone, A. (2010). Assessment of open source GIS software for water resources management in developing countries. *Journal of Hydro-environment Research*, 4(3): 253-264.
10. Corwin, D. L., Lesch, S. M. (2005). Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computer and Electronics in Agriculture*, 46: 11-43.
11. Corwin, D. L., Lesch, S. M., Shouse, P. J., Soppe, R., Ayars, J. E. (2003). Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. *Journal of Agriculture*, 46: 11-43.
12. Dalezios, N., Domenikiotis, R., Loukas, A., Tziortzios, S., Kalaitzidis, C. (2001). Cotton yield estimation based on NOAA/AVHRR produced NDVI. *Physics and Chemistry of Earth*, 26: 247-251.
13. Dunn J. M. (2013). Global Positioning Systems Directorate – Systems Engineering & Integration. <http://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200H.pdf>. Όπως ανακτήθηκε στις 04/08/2014.
14. Fiala, M., Oberti, R. (1999). Test of an automatic rate control system for a centrifugal-type dry fertilizer spreader. *Applied Engineering in Agriculture*, 15(4): 273-278.
15. Fleming, K. L., Westfall, D. G., Wiens, D. W., Brodah, M. C. (2000). Evaluating farmer developed management zone maps for variable rate fertilizer application. *Precision Agriculture*, 2: 201-215.

16. Fraisse, C. W., Sudduth, A., Kitchen, N. R. (2001a). Delineation of site-specific management zones by unsupervised classification of topographic attributes and soil electrical conductivity. Transactions of the ASAE, 44(1): 155-166.
17. Fulton, J. P., Shearer, S. A., Chabra, G., Higgins, S. F. (2001). Performance assessment and model development of a variable rate spinner fertilizer disc applicator. Transactions of the ASAE, 44(5): 1071-1081.
18. Fulton, J. P., Shearer, S. A., Stonbaugh, T. S., Anderson, M. E., Burks, T. F., Higgins, S. F. (2003). Simulation of fixed and variable rate application of granular materials. Transactions of the ASAE, 46(5): 1311-1321.
19. Gale, A. (2014). World DGPS Database for DXERS. <http://www.ndblist.info/datamodes/worldDGPSdatabase.pdf>. Όπως ανακτήθηκε στις 04/08/2014.
20. Garsia, F., Sankaran, S., Maja, J., Lee, W., Rasmussen, J., Ehsani, R. (2013). Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing infected citrus trees. Computers and Electronics in Agriculture, 91: 106-115.
21. Grisso, R. B., Alley, M., Holsehouser, D., Thomason, W. (2009). Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity. Virginia State University.
22. Haboudane, D., Miller, J. R., Trembley, N., Zarco-Tejada, P. J., Dextraze, L. (2002). Integrated Narrow band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. Remote Sens. Environ., 81: 416-426.
23. Clevers, J. (1997). A simplified approach for yield prediction of sugar beet based on optical remote sensing data. Remote Sensing of Environment, 61 (2): 221-228.

24. Johansen, B., Tømmervik, H. (2014). The relationship between phytomass, NDVI and vegetation communities on Svalbard. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27: 20-30.
25. Kee, C., Parkison, B. W., Axelrad, P. (1991). Wide Area Differential GPS. *Navigation: Journal of the Institute of Navigation*, 38 (2): 123-143.
26. Kipp, S., Mistele, B., Schmidhalter, U. (2014b). The performance of active spectral reflectance sensors as influenced by measuring distance, device temperature and light intensity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 100: 24-33.
27. Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Myers, D. B., Massey, R. E., Sadler, E. J., Lerch, R. N., Hummel, J. W., Palm, H. L. (2005). Development of a conservation-oriented precision agriculture system: Crop production assessment and plan implementation. *Journal of Soil and Water Conservation* 60: 422.
28. Rasmussen, K., Skriver, H., Tychsen, J., Gudmandsen, P., Olsen, M. (1994). Environmental Monitoring by Remote Sensing in Denmark. *Geografisk Tidsskrift, Danish Journal of Geography*, 94: xx-xx.
29. Lei, X., Wang, Y., Liao, W., Jiang, Y., Tian Y., Wang, H. (2011). Development of efficient and cost-effective distributed hydrological modeling tool MWEasyDHM based on open-source MapWindow GIS. *Computers & Geosciences*, 37(9): 1476-1489.
30. Lillesand, T., Kiefer, R. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. J. Wiley and Sons, New York.
31. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D., Rhind, D., (2005). *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications (Abridged Edition)*. J. Wiley and Sons, New Jersey, pp. 343-349.

32. Luedeling, E., Hale, A., Zhang, M., Bentley, W., Dharmasri, C. (2009). Remote sensing of spider mite damage in California peach orchards. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11: 244-255.

33. Da Silva Júnior, M. C., De Carvalho Pinto, F. A., De Queiroz, D. M., Alves, E. A., Navas Gracia, L. M., Gil, J. G. (2006). Correlation between vegetation indices and nitrogen leaf content and dry matter production in *Brachiaria decumbens*. *Image Analysis for Agricultural Products and Processes*, 69: 145-150.

34. McMillan, R. A., Pettapice, W. W., Watson, L. D., Goddard, T. W. (1998). A landform segmentation model for precision farming. In: *Precision Agriculture*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, pp. 1335-1346.

35. Minelli, A., Marchesini, I., Taylor, F., Rosa, P., Casagrande, L., Cenci, M. (2014). An open source GIS tool to quantify the visual impact of wind turbines and photovoltaic panels. *Environmental Impact Assessment Review*, 49: 70-78.

36. Moore, S. H., Walcott, M. C. (2001). Mapping and interpreting electrical conductivity in production fields. *Louisiana Agriculture*, 44(3): 25-27.

37. Morgan, M., Ess, D., (1997). *The Precision Farming Guide for Agriculturists*. Edited by J.E. Kuhar. Published by John Deere Publishing Dept 374.

38. Mulla, D. J., Schepers, J. S. (1997). Key processes and properties for site-specific soil and crop management. In: *The state of site specific management for agriculture*. Published by American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, pp. 1–18.

39. National Research Council, (1997). Precision Agriculture in the 21st Century: Geospatial and Information Technologies in Crop Management. National Academy Press, Washington, D.C. pp. 1-15.
40. Neteler, M., Bowman, H., Landa, M., Metz, M. (2012). GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling & Software*, 31: 124-130.
41. Radinger, J., Kail, J., Wolter C. (2014). FIDIMO — A free and open source GIS based dispersal model for riverine fish. *Ecological Informatics*, 24: 238-247.
42. Rady, A. M., Guyer, D. E., Kirk, W., Donis-Gonzalez, I. R. (2014). The potential use of visible/near infrared spectroscopy and hyperspectral imaging to predict processing-related constituents of potatoes. *Journal of Food Engineering*, 135: 11-25.
43. Son, N. T., Chen, C. F., Chen, C. R., Minh, V. Q., Trung, N. H. (2014). A comparative analysis of multitemporal MODIS EVI and NDVI data for large-scale rice yield estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 297: 52-64.
44. Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P. (1993). Engineering principles of agricultural machines. ASAE textbook No 6. ASAE, St. Joseph, MI.
45. Townshend, J. R. G. (1981). *Terrain Analysis and Remote Sensing*. G. Allen and Unwin. London.
46. Usha, K., Singh, B. (2013). Potential applications of remote sensing in horticulture—A review. *Scientia Horticulturae*, 153: 71-83.
47. Yang, C., Everitt, J. H., Bradford, J. M. (2001). Comparison of uniform and variable rate nitrogen and phosphorus fertilizer applications for grain sorghum. *Transactions of the ASAE*, 44(2): 201-209.

48. Yao, R. J., Yang, J. S., Zhang, T. J., Gao, P., Wang, X. P., Hong, L. Z., Wang, M. W. (2014). Determination of site-specific management zones using soil physico-chemical properties and crop yields in coastal reclaimed farmland. *Geoderma*, 232-234: 381-393.
49. Coppock, J. T., Rhind, D. W. (1991). The History of GIS. In: *Geographic Information Systems*. J. Wiley, pp. 21-43.
50. Ortiz, B. V., Shaw, J., Fulton, J. P., Winstead, A. (2011). Management Zones I – Role in Site-Specific Management. In: *Precision Agriculture Series, TIMELY INFORMATION – Agriculture, Natural Resources & Forestry*. Alabama Precision Ag Extension, pp. 1-2.
51. Delalibera, H. C., Weirich Neto, P. H., Nagata, N. (2012). Management zones in agriculture according to the soil and landscape variables. *Eng. Agric*, 32(6): 1197-1204.
52. Okeke, F., Karnieli, A. (2006). Linear mixture model approach for selecting fuzzy exponent value in fuzzy c-means algorithm. *Ecological Informatics*, 1: 117-124
53. Vatsanidou A., Fountas S., Nanos G., Gemtos T. 2014. Variable Rate Application of Nitrogen Fertilizer in a commercial pear orchard. *The International Journal of the American Farm School of Thessaloniki*, 1: 1-8.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αγγελοπούλου Α. (2008). Γεωργία Ακριβείας σε Οπωρώνες. Διδακτορική Διατριβή. Νέα Ιωνία, Βόλος.
2. Αγγελοπούλου Α. (2005). Σημειώσεις Γεωργίας Ακριβείας. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

3. Αδαμακόπουλος, Τρ., Ματσούκα, Π., Χαλκιάς, Χρ. (2002). Αξιοποίηση των τεχνολογιών GIS – GPS στη χαρτογραφική παραγωγή. Πρακτικά του 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας. Τόμος 2, σελ. 1-8.
4. Αργιαλάς, Δ., Τζώτσος, Α., Ιωσηφίδης, Χ. (2010). Σύγχρονες τεχνολογίες τηλεσκοπησης για την ανίχνευση, καταγραφή, αποτίμηση πυρκαγιών και προστασίας των πληγέντων περιοχών. Πρακτικά συνεδρίου “Πυρκαγιές – Έγκαιρη Ειδοποίηση, Σχεδιασμός, Αντιμετώπιση” του Ε.Μ.Π., 15 Ιουνίου 2010, Αθήνα.
5. Βουκάντσης, Δ. (2008). Τηλεπισκόπηση και Συστήματα Προσδιορισμού Θέσης. <http://miniurl.com/4a2df>. Όπως ανακτήθηκε στις 04/08/2014.
6. Γαβριηλίδης, Σ. Θ. (1969). Καλλιεργητικές φροντίδες και μηχανική συγκομιδή. Θεσσαλονίκη. (Διδακτικό βιβλίο).
7. Γέμτος, Θ. Α., Φουντάς, Σ., Blackmore, S., Greipentrog, H. W. (2002). Precision farming experience in Europe and the Greek potential Πρακτικά Συνεδρίου της Ελληνικής Εταιρείας Εφαρμογών Πληροφορικής στη Γεωργία, Αθήνα, Ιούνιος 2002.
8. Γέμτος, Θ. Α., Φουντάς, Σ., Μαρκινός, Α., Blackmore S. (2003). Γεωργία ακριβείας: Προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα και στη Νότια Ευρώπη. Πρακτικά 3ου Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Μάιος, 29-31, 2003. Σελ. 230-237.
9. Δερμάνης Α. (1999). Διαστημική γεωδαισία και γεωδυναμική – GPS. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
10. Ζαλίδης, Γ., Αλεξανδρίδης, Θ. (2012). Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στη Γεωργία: Πρωτογενής Παραγωγή. Πρακτικά 24ης Διεθνούς έκθεσης γεωργικών μηχανημάτων, εξοπλισμού και εφοδίων.

11. Λιάκος, Β. (2013). Εφαρμογή νέων τεχνολογιών στη διαχείριση οπωρώνων μηλιάς. Διδακτορική Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
12. Μήτσιος, Ι. (2004). Γονιμότητα εδαφών. Θρεπτικά στοιχεία φυτών. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.
13. Παπαοικονόμου, Μ. (2003). Οδηγός Γεωργίας Ακριβείας. Αγροχημικά ΑΒΕΞ, Τμήμα τεχνικής υποστήριξης, σελ. 9-10.
14. Στυλιανίδης, Δ., Σιμώνης, Α., Συργιαννίδης, Γ. (2002), Θρέψη-λίπανση φυλλοβόλων οπωροφόρων δένδρων. Εκδόσεις Σταμούλη.
15. Τάνος, Α., Αγγελοπούλου, Α., Φουντάς, Σ., Γέμτος, Θ. Α., Νάνος, Γ. Δ., Χατζηνίκος, Α. 'Ζώνες Διαχείρισης Βάση χαρτών παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και ηλεκτρικής αγωγιμότητας'. Πρακτικά 5ου Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής 10/2007.
16. Τσατσαρέλης, Κ. Α., (2000). Αρχές Μηχανικής Κατεργασίας του Εδάφους και Σποράς. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις Γιαχούδη σελ. 357-359.
17. Τσατσαρέλης, Κ. Α., (2006). Διαχείριση Γεωργικών Μηχανημάτων. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Γιαχούδη σελ. 309-316.
18. Τσελές, Δ., Κυριακαράκος, Γ. (2011). Νέες τεχνολογίες στη γεωργία – Γεωργία ακριβείας. Πρόγραμμα Γ.Γ.Ν.Γ.: ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΝΕΩΝ ΑΓΡΟΤΩΝ. Τ.Ε.Ι Πειραιά.
19. Φλωράς, Σ., (2004). Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Πανεπιστημιακές παραδόσεις, Βόλος.
20. Φωτίου, Α., Πικριδάς, Χ. (2006), GPS και Γεωδαιτικές Εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
21. Φωτίου, Α., Πικριδάς, Χ., (2003). Το δορυφορικό σύστημα GPS. Τμήμα Εκδόσεων Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

22. Καρυδάς, Χ. Γ., Συλλαίος, Ν. Γ. (2000). 'Γεωργία Ακριβείας: Περιγραφή της μεθόδου – Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές'. Πρακτικά 2ου ειδικού συνεδρίου "Πληροφοριακά συστήματα στον Αγροτικό Τομέα" της Ελληνικής Εταιρείας Επιχειρησιακών Ερευνών, Χανιά, Οκτώβριος, 2000. Σελ. 134-146.
23. Καρυδάς, Χ. Γ., Συλλαίος, Ν. Γ. (2005). Πεδία και τρόποι καταγραφή της παραλλακτικότητας στη Γεωργία Ακριβείας. http://users.auth.gr/silleos/new_page_6.htm. Όπως ανακτήθηκε στις 3/8/2014.
24. Ευαγγέλου, Ε., Τσαντίλας, Χ. (2011). Γεωργία Ακριβείας: Το μελλοντικό σύστημα παραγωγής αγροτικών προϊόντων. Πρόγραμμα HYDROSENSE. ΕΘΙΑΓΕ, 44:18-21

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ.

1. <http://plen.ku.dk/om/pfv/forsoegsgaarde/phenofield/>. Όπως ανακτήθηκε στις 8/8/2014.
2. <http://www.phidgets.com/>. Όπως ανακτήθηκε στις 8/8/2014.
3. <http://www.trimble.com/agriculture/greenseeker.aspx>. Όπως ανακτήθηκε στις 8/8/2014.
4. <http://www.trimble.com/agriculture/weedseeker.aspx>. Όπως ανακτήθηκε στις 8/8/2014.
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_system. Όπως ανακτήθηκε στις 8/8/2014.
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System. Όπως ανακτήθηκε στις 8/8/2014.
7. https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_agriculture. Όπως ανακτήθηκε στις 8/8/2014.
8. www.gps.gov. Όπως ανακτήθηκε στις 8/8/2014.
9. <http://opensourcegis.org/>. Όπως ανακτήθηκε στις 14/08/2014.